ODICAL
(2)
Oceanog. Soc. Japan
Journal
LIBRARY
DEC 13 1960
FISH & WILDLIFE SERVICE
15(2)

日本海洋学會誌

JOURNAL OF THE OCEANOGRAPHICAL SOCIETY OF JAPAN

Volume 15, Number 2 JUNE 1959

CONTENTS

浜田七郎・細川巖： 東支那海底土成分について... 39～42

細川巖・岡部史郎・浜田七郎： 東支那海底土の海洋化学的研究 (第1報)有機炭素及び全窒素含量について..... 43～47

F. C. W. OLSON： 渦動粘性が深さの一次函数である場合のエクマン型吹送流(英文) 49～51

F. C. W. OLSON： Sinh $t^{\frac{1}{2}x}$ 等の極形式及びそのエクマン型吹送流の解への応用(英文)..... 53～55

南日俊夫・岩宮政雄・赤松英雄： 簡単な自記流速計——南日・岩宮流速計..... 57～60

山本広志： 本邦内湾の海洋化学的研究 (第7報) 浦戸湾における溶存酸素消費作用について (その2)61～63

東慎之介： 海水中のトリウムに就て ..... 65～68

東慎之介： トリウムが岩石圏から水圏に移行する過程について——海水中のトリウムの起原と関連して 69～75

寄稿..... 77～82

特別寄稿..... 83～89

録事..... 91～94

会則..... 95～97

S. HAMADA and I. HOSOKAWA: *On the Muddy Sediments of the East China Sea* (in Japanese) ..... 39～42

I. HOSOKAWA, S. OKABE and S. HAMADA: *Oceanographical Studies on the Sediments in the East China Sea* (1) *On the Contents of Organic Carbon and Total Nitrogen* (in Japanese) ... 43～47

F.C.W. OLSON: *The* EKMAN *Spiral for a Linearly Varying Eddy Viscosity*..... 49～51

F.C.W. OLSON: *The Polar Forms of Sinh* $t^{\frac{1}{2}x}$, *etc. and their Application to the* EKMAN *Spiral* ..... 53～55

T. NANNICHI, M. IWAMIYA and H. AKAMATSU: *A New Simple Current Profile Recorder* NANNICHI・IWAMIYA *Current Meter* (in Japanese) ..... 57～60

H. YAMAMOTO: *Oceanographical Studies on Japanese Inlets* (7) *On the Consumption of Dissolved Oxygen in Urado Bay* (*Part* 2). (in Japanese) ..... 61～63

S. HIGASHI: *Estimation of the Microgram Amount of Thorium in Sea-Water* (in Japanese) ..... 65～68

S. HIGASHI: *On the Thorium Transfer from Lithosphere to Hydrosphere—In Connection with the Occurrence of Thorium in Sea Water* (in Japanese) ..... 69～75

Correspondences..... 77～82

Special Correspondences..... 83～89

Proceedings ..... 91～94

Regulations of the Society ..... 95～97

Published quarterly by the

Oceanographical Society of Japan

c/o Geophysical Institute, University of Tokyo

Yayoi-cho, Bunkyo-ku, Tokyo, Japan

日本海洋学会

日本海洋学会誌編集委員会

委員長　松江吉行（東京大学農学部）
委　員　中野猿人（気象庁）
南日俊夫（気象研究所）
新野　弘（東京水産大学）
深井麟之助（東海区水産研究所）
吉田耕造（東京大学理学部）
小牧勇蔵（東京大学農学部）

日本海洋学会誌投稿規定

1. 投稿資格　報文の投稿者は，原則として本会々員に限る．但し会員外の協同研究者を含むことは差支えない．

2. 報文の受理　編集委員会が報文を受理した日をもつて受理日と定める．尚受理報文は，原則としてすでに公の会で講演されたもので，未印刷のものに限る．特に日本海洋学会の年会又は月例会で講演されたものであることが望ましい．原稿には講演の年月日・会名・場所を附記されたい．

報文の原稿は，**東京都文京区向ケ丘彌生町東京大学理学部地球物理学教室内日本海洋学会事務局宛直送のこと．**

3. 報文の用語　報文の用語は，和文（英文の要約を含む）又は欧文（原則として英語）の何れでもよい．

4. 原稿の書き方　報文は簡潔にわかり易く書き，図表を含めて**印刷頁で10頁以内**（和文では400字詰原稿用紙図表を含めて約45枚以内，欧文では通常のタイプライター用紙に，ダブル・スペース25行で，図表を含めて約25枚以内）を原則とし，それを超える時は，1頁につき1,500円の実費を申受ける．**なお著者は必ず原稿の写しを保管しておくこと．**

原稿を書く時には，次のことがらに留意されたい．

（a）　和文原稿は，原稿用紙に読み易い字体で書き，欧文原稿は厚手の用紙にダブル・スペースでタイプすること．

（b）　報文の始めには，題名・著者名・所属機関名を明示すること．和文（英文）原稿では，之等の項目を英文（和文）でも附記すること．

（c）　和文原稿には，本文の始めに英文の要約を附すること．

（d）　図はそのまま版下になるように，黒インク又は墨で書くこと．図の大きさ(特に図の中の数字等)は印刷時の縮少を考慮して書くこと．

（e）　図及び表はなるべく少くしていただきたい．図8枚を超える場合及び特殊なものに対しては，実費を申受けることがある．

（f）　図及び表には必ず説明をつけ，和文原稿でも図表の説明は英文で書くこと．

（g）　数式は行を開けて，明瞭に書くこと．

（h）　引用文献は，報文の最後にまとめてつけ，和文の場合には通し番号をつけ番号順に，欧文の場合には，著者のアルファベット順に並べること．

（i）　人名（和文中の外国人名を含む）はスモール・キヤピタルを用いる．

（j）　論文の型式は第12巻以後の各号を参照して，之にしたがうこと．

5. 編集　日本海洋学会誌の編集は，編集委員会で行う．編集委員会は，事情により原稿中の字句の加除訂正を行い，或いは著者に請求することがある．内容の如何によつては原稿を受理しないことがある．初校は原則として著者が行う．

6. 別刷　別刷は報文一編につき50部を無料で著者に進呈する．これ以上の部数に対しては，実費（送料を含む）を徴収する．

7. 各号の原稿締切予定及び発刊予定日

	原稿締切	発刊予定日
第1号	1月末日	3月末日
第2号	4月末日	6月末日
第3号	7月末日	9月末日
第4号	10月末日	12月末日

The Journal of the Oceanographical Society of Japan
Vol. 15, No. 2 June 1959

東支那海底土の泥土成分について*

浜田七郎**　　細川巖***

On the Muddy Sediments of the East China Sea

Shichiro HAMADA,　Iwao HOSOKAWA

Abstract: 78 samples of the sediments obtained from East China Sea were analysed mechanically and the distribution of muddy part was studied. Muddy sediments and sandy ones both distribute in the area of "SHIOME" or current rips, which occur on the mixing of three component currents in this sea, namely, the coastal, the Yellow Sea cold water mass and the KUROSHIO current.

The content of muddy part on the sediments is nearly proportional to its own latitude, and the maximum value occur in the area of 70–80 m. depth. The relations of the muddy content to the ignition loss and the total nitrogen content were studied, also.

周知の通り，東支那海はわが国周辺における最大かつ典型的な大陸棚の一つで，北部方面には黄河，遼河等，南部方面には揚子江等の大河川が流入しており，これらの河川水によつて運ばれる多量の珪酸塩その他が堆積してこの大陸棚を形成するため，その水深は極めて小で同海域の大半は水深 100 m 以下の部分で占められている．これらの底質の性質及び堆積状況を明らかにすることは単に海洋学的な立場からだけでなく水産学界その他からも要望されているにも拘らずその研究例は殆んど稀である．筆者らは 1957 年以来多数の同海底質について化学的検討を加えてきたが，今報ではまづその粒度分析の一部を述べ，主として泥土成分の分布について報告する．

従来この東支那海の海況については，長崎海洋気象台等[1]によつて継続的観測が実施され既に多くの成果が得られている．特に最近の研究[2]では同海の主要な三水系，即ち，黄海冷水塊，沿岸水及び黒潮の混合状況が明かになり，これによつて同海の海況は極めて明確となつている(第1図)．同海の底質を研究する際には，これらの海洋観測のデーターが多く利用可能であり，特に底質の堆積

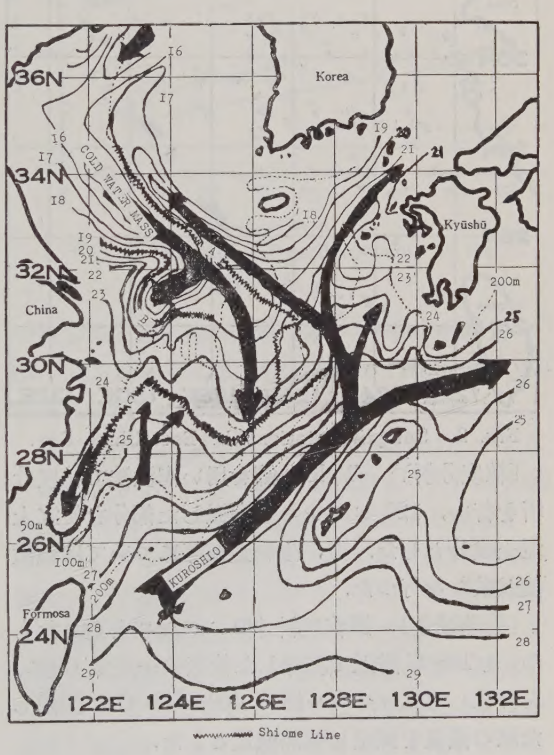


Fig. 1. Surface water temp. in East China Sea (°C, June 1957).

* 1959 年 4 月 28 日受理

** 水産庁西海区水産研究所　Western Sea Rigional Fisheries Research Laboratory, Nagasaki.

*** 福岡学芸大学　Fukuoka College of Liberal Arts, Fukuoka.

状況検討には海況の解明が必須のものであるので，この点，同海は底質の研究には最も恵まれたフイールドの1つというべきであろう．

〔実験試料〕 試料は主として水産庁西海区水産研究所，長崎県水産試験場及び長崎海洋気象台によつていづれも S.K. 式採泥器で採集されたもので総数78個である（第2図参照）．いづれも採泥直後ホルマリン処理を行い，帰港後実験室で風乾したものを実験に供した．

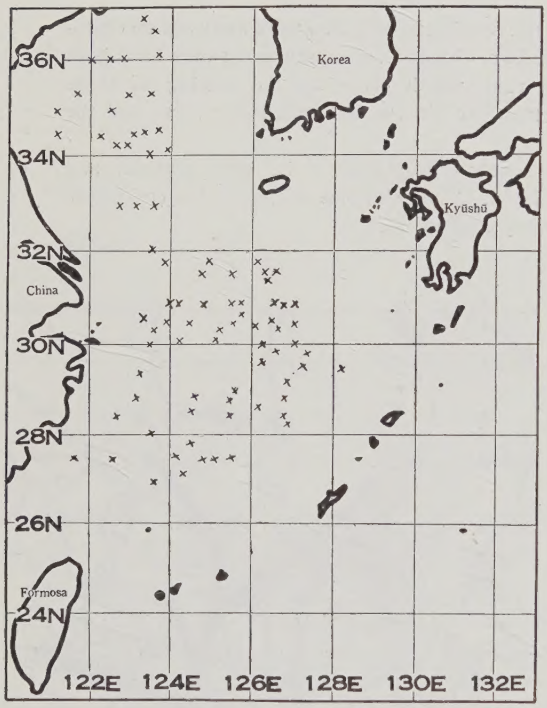


Fig. 2. Sampling stations in East China Sea.

〔粒度分析〕* Tyler 篩を用い淘汰法で粒度分析を行い，120 メッシュを通過した部分を便宜上泥土成分とした．又，生物遺骸等については顕微鏡試験* を行つた．

〔強熱減量〕 風乾試料（90 メッシュを通したもの）を 105°C 附近で乾燥した後其の一定量（5gr.）を秤取し電気マッフル炉で 400～500°C に強熱した際の減量を測定し強熱減量とした．

〔全窒素含量〕 強熱減量測定と同様 90 メッシュを通した乾燥試料について通常の Kjeldahl 法によつて定量した．

* 結果は別に印刷予定

〔結果及び考察〕

（1） 泥土成分の分布 粒度分析の詳細な結果は省略し，第3図に泥土量 80% 以上の水域と 20% 以下の水域を示した．同図の潮目は第1図

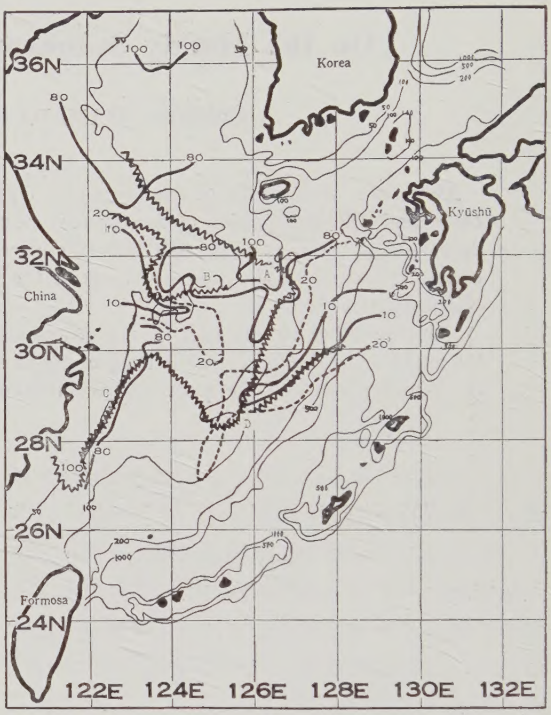


Fig. 3. Distribution of mud. (%)

から明らかなように3種の異つた水系の接触によつておこるもので，潮目 A は黄海冷水塊と黒潮支流，B は黄海冷水塊と沿岸水，C は沿岸水と黒潮分流との接触によつて夫々生じたものと認められる．第3図でわかるように，泥土部分にとむ水域は概ねこれらの潮目附近に存在し，特に A, B及び C に著しい．又，泥土成分に乏しい（従つて砂質にとむ）水域は潮目 B の大陸側並びに D 附近に存在している．大陸棚に於て潮目附近の底質に泥土成分が多いことは既に報告[3)4)] されているが，このように東支那海の全水域にまたがる報告は少ない．

元来，東支那海底質の泥土成分の起源は主として黄河その他の河川の流入と南方の揚子江等からの泥土に求めるべきであらうと考えられるが，上述の底質泥土のうち，山東半島南方水域の泥土は前者に，揚子江沖全以南水域の泥土は後者に夫々

来するものと認められるので，もしこれら両底質の物理的，化学的並びに鉱物学的相違を明かにし得るならば，東支那海の各水域に於ける底質泥土部の起源を推定し得る可能性が考えられる．従つて，これらの相違を検討することが今後興味ある問題であり，特に同海における堆積状況を検討する上に重要な意義をもつものとなろう．

（2） 泥土成分と緯度　東支那海底質の泥土含量と緯度の関係を第4図に示した．同図から明かなように，一般的には緯度を増すにつれ泥土含量は増加する傾向にある．

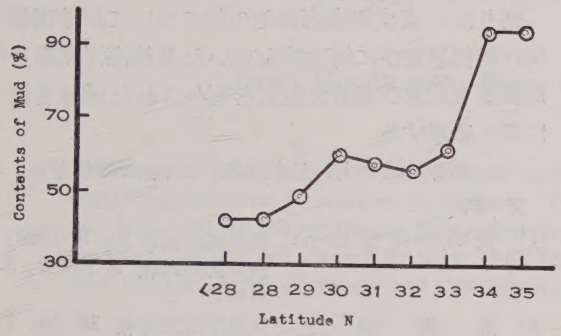


Fig. 4. Relation between contents of mud and the latitude.

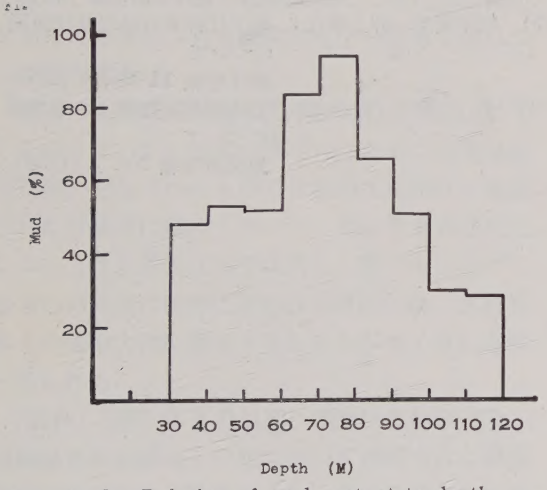


Fig. 5. Relation of mud content to depth.

（3） 泥土成分と水深　第5図に水深120m以下の泥土含量平均値と水深との関係をヒストグラムで示した．泥土含量は水深 70～80 m 附近で最大値を示し，水深がこれよりも増減するに伴いいづれも減少している．特に水深が 80 m よりも増すに従つてこの傾向が著しい．東支那海では水深はほゞ陸岸からの距離に対応しているから上述の傾向は，換言すれば，陸岸に近い底質は一般に泥土が少く（従つて砂質にとみ）陸岸から遠ざかるにつれて泥土含量が増加し，更にその距離を増すと急激に泥土量が減少して砂質となることをあらわしている．これは日本近海の大陸棚堆積物に於けるものと同一傾向である[4]

（4） 泥土成分と強熱減量　第6図に泥土含量と強熱減量の関係を示した．試料を北方水域（33° N～36° N）中部水域（30°～33° N）南方水域（27°～30° N）にわけると，北方水域以外ではいづれも泥土量と強熱減量は正の相関々係にあるが，北方水域では泥土量に関係なくほゞ一定の強熱減量を示している．

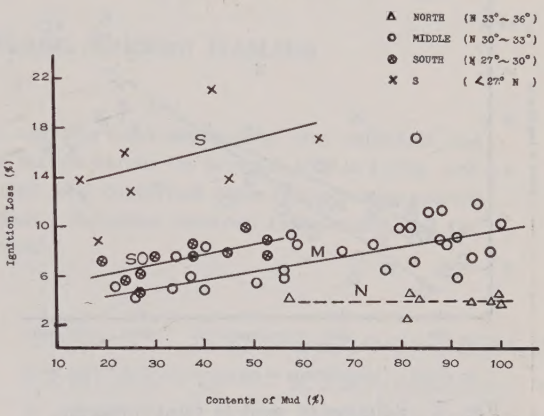


Fig. 6. Relation of mud contents to the ignition loss.

周知の通り，強熱減量の化学的意義は必ずしも一義的なものではなく，強熱に際して失われる結合水，有機物及び炭酸塩等の分解による減量と，同時に生ずる酸化物等による増量との総計が強熱減量として測定されるものであるが，一般的にはこの減量を有機物含量を推定する指標とすることが多い．上記の結果と次記の全窒素含量の関連から考えると，これらの試料では強熱減量は有機物含量と対応するものと認めても差支えないように思われるので，上述の結果は泥土成分にとむ底質ほど有機物質にとんでいるという傾向を窺う証左ということができよう．

又，第6図から，泥土含量がほゞ等しい底質で

も場所によつて強熱減量には相違があることが認められる．即ち中部水域と北方水域では明らかに強熱減量は前者が大であり，又南方水域では20°N以南と以北で強熱減量に相当の相違がある．これらは恐らく炭酸塩含量の差に由来するものと推定されるが，詳細は今後の検討をまつて報告する．

（5） 泥土成分と全窒素含量 第7図に両者の関係を示した．図から明らかなように両者の間には正の相関々係がうかゞわれる．この全窒素含量

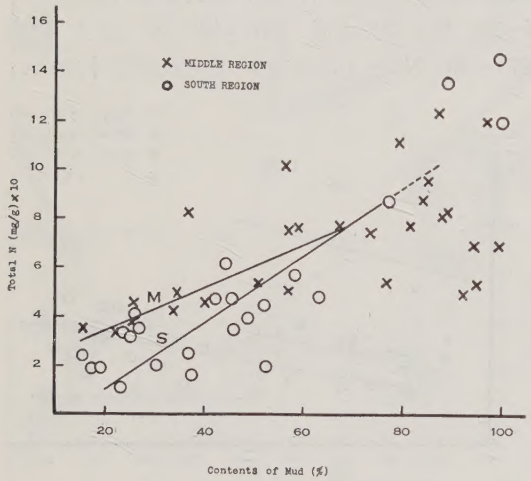


Fig. 7. Relation of mud to total nitrogen.

は主として有機物質に由来するもので，所謂栄養塩の源となり得る量を示すものである．上述の結果から見ると，泥土成分の多い水域では全窒素含量が多く，従つて水産学方面にも大きな関係をもつものと思われる．

〔要約〕

(1) 東支那海試料78点について粒度分析を行つた結果，泥土成分 80% 以上及び 20% 以下の水域はいづれも同海の潮目附近にあることが明らかになつた．

(2) 泥土含量は高緯度の水域に多く，又水深70～80 m 附近に多い．

3) 泥土含量と強熱減量，及び泥土含量と全窒素含量との間には夫々比例関係が認められる．

終りに，東支那海海況その他について終始御懇切な御指導並びに御示唆を頂いた長崎海洋気象台加藤威夫氏及び貴重な試料を恵与された関係各位に深く感謝する．

（昭和34年4月，日本海洋学会年会で1部発表）

文 献

(1) 長崎海洋気象台: 海洋観測報告 No. 9 (1950)
〃 : 長崎海洋時報 **2** No. 2, 3 (1951)
(2) 加藤威夫: 気象庁研究時報 **10** No. 7 (1958)
〃 測候時報 **25** No. 1 (1958)
Fig. 1 はこれによった．
(3) 松平康男，井上静江: 揚子江沖合の浮泥及び海況について
海洋時報 **11** No. 4 (1939)
(4) 星野道平: 日本近海大陸棚上の堆積物について
地図研専報 No. 7 (1958)

The Journal of the Oceanographical Society of Japan
Vol. 15, No. 2 June 1959

東支那海底土の海洋化学的研究 (I)
有機炭素及び全窒素含量について*

細川 巖**, 岡部史郎** 浜田七郎***

Oceanographical Studies on the Sediment in the East China Sea
(I) On the Contents of Organic Carbon and Total Nitrogen

Iwao HOSOKAWA, Shiro OKABE, Shichiro HAMADA

Abstract: Distributions of the organic carbon and the total nitrogen in the sediments are researched on about 80 samples in this sea. The former values lie between 0.10 to 1.93%, and the latter 10 to 186 mg/100 g. These distributions are concerned with the oceanographical conditions of this sea, especially with SHIOME lines. Relations between these values and the mud content, depth of water, and C/N are discussed.

前報[1]では東支那海底土中の泥土成分量について報告したが，今報では同試料につき化学的検討を加えた結果のうち有機炭素及び全窒素含量について報告する．

従来，わが国周辺の海底堆積物の研究例は必ずしも少くないが，その大部分は主として地質学的な立場からなされたもので化学的な見地から検討された研究例は極めて少い[2]．特に東支那海底土については化学的な研究は殆んど稀であるので[3]，著者らの研究は純粋化学の各分野は勿論，水産業界その他の方面に寄与するところが少くないものと思われる．

〔試料〕1957年2月以来，西海区水産研究所，長崎県水産試験場その他によつて採泥された東支那海底土試料約200個のうち，泥土含量のやゝ多い試料約80個について検討した．採泥位置は各種測器により正確に測定され，水深に対しては総て魚探を用い，採泥測深器使用の場合は潮流に対する補正を行つている．底土試料は採泥後ホルマリン処理を行い，帰港後，実験室で風乾し，これを105°C附近で乾燥し実験試料とした．たゞし，有機炭素の定量には，上述の実験試料を篩別し100メッシュを通過した部分を乾燥して実験に供した．

〔分析法〕

1) 有機炭素定量法 小山法[4]によつた．即ち，予め酸で処理して炭酸塩を除いた試料について，硫酸及び重クロム酸カリ等により炭素を炭酸ガスとしてバリタ水に吸収させ，未反応のバリタ水を塩酸で逆滴定する．別に空実験を行つて，両者の数値の差から試料中の有機炭素を算定した．

2) 全窒素定量法 通常のKjeldahl法によつた．

〔実験結果及び考察〕

1) 有機炭素量 第1図に東支那海底土の有機炭素含量の分布を示した．同図から明らかなように，有機炭素の分布は潮目と関連をもち，潮目附近ではその含量に変化がみられる（潮目について

* 1959年4月28日受理.
** 福岡学芸大学 Fukuoka College of Liberal Arts, Fukuoka
*** 水産庁西海区水産研究所 Western Sea Rigional Fisheries Research Laboratry, Nagasaki

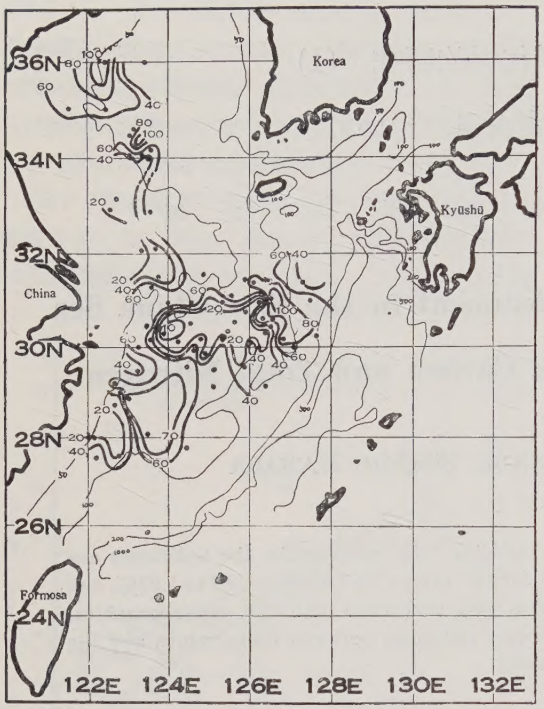


Fig. 1. Distribution of the organic carbon (mg/g×10).

は前報[1] 参照).

前報で報告したように，これらの潮目附近では泥土含量に極めて大きな変動がみられ，泥土含量20%以下の砂質底土と泥土含量80%以上の泥質底土の水域がごく接近して存在している．これらの底質のうち，泥土に乏しく砂質にとむ水域では有機炭素が少なく，泥土にとんだ泥質の水域では，反対に，有機炭素が多くなる（泥土分布については前報[1] 参照）．この事実は，第2図の泥土含量と

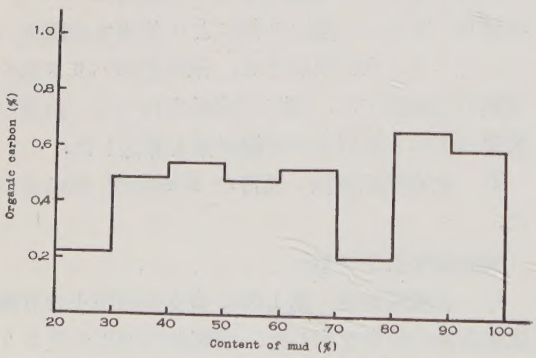


Fig. 2. Relation between organic carbon and mud in sediments.

有機炭素含量の関係を示すヒストグラムからも窺えることで，同図から明らかなように，泥土量30%以下では有機炭素量は著しく小であるのに対し，泥土量80%以上ではその約3倍の大きな値を示している．

又，水深100m以下の水域について有機炭素量と水深の関係をしらべると第3図の通りである．即ち，始めは水深の増加と共に有機炭素量も漸次増加し 70～80 m 附近で最高値に達するが，更に水深を増すと急激な減少を示す．この傾向は，前

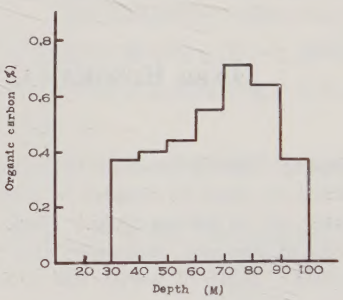


Fig. 3. Relation between organic carbon and depth.

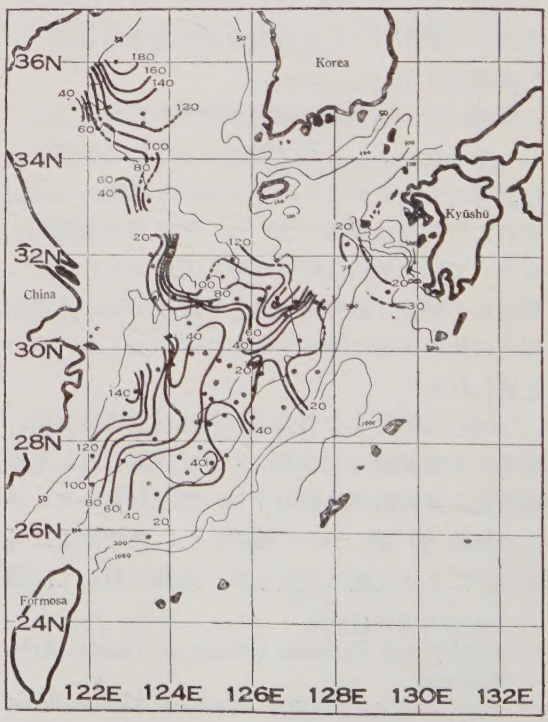


Fig. 4. Distribution of the total nitrogen (mg/100g)

報の泥土含量と水深との関係とよく類似しており，有機物が泥土の堆積に伴つて沈積することをあらわしているものと推定される．

2)　全窒素量　第4図に全窒素量の分布を示した．この分布は前述の有機炭素の場合にかなり類似しており，潮目附近で大きな変動をみせている．

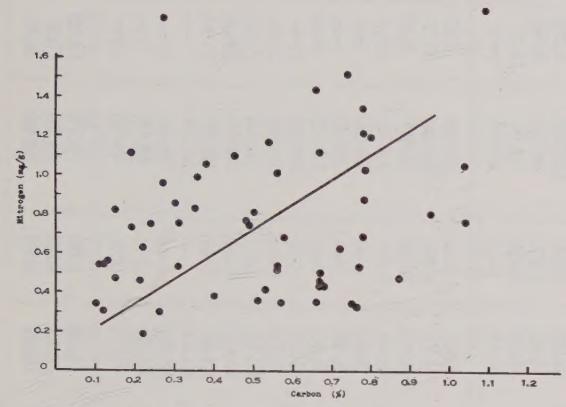


Fig. 5.　Organic carbon to total nitrogen.

今有機炭素量と全窒素量の関係を第5図に図示すると，両者の間にはかなり比例的な関係がみられるので，このため両者の分布が上記の通り類似性をもつものと思われる．この傾向は全窒素量と水深との関係においてもみられ，第6図の通り，水深120m以下の水域では全窒素量は水深と共に増加して70～80mで最大値を示し，更に水深が増すと減少しているが，これは有機炭素の場合とほゞ同様である．

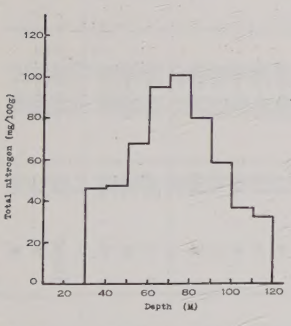


Fig. 6.　Relation between total nitrogen in sediments and depth of of water.

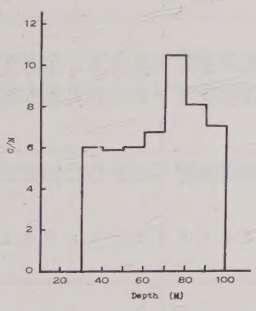


Fig. 7.　Relation between C/N and depth of water.

3)　C/Nの値　C/Nの値は，有機炭素に於ては100メッシュ以下の粒度についての分析値，全窒素ではそのまゝの試料についての分析値から算出したものである．C/Nは有機炭素及び窒素の分布から明らかなように，潮目附近で大きな変動をみせている．これらは，いづれも，異つた水系の混合水域では著しい物理化学的及び生化学的変化がおこることを示すものであろう．C/Nと水深の関係は第7図の通りである．即ち，水深30～60mではC/Nはほとんど同一値を示しているが，70～80mでは大きな値となり，更に水深を増すと減少する．これは上述の関係から直ちに推測できるように，C/Nの値が有機炭素量とほゞ比例的関係になるため，C/Nと水深との関係は有機炭素と水深の関係と類似し上述のような傾向を示すものと認められる．

上記の実験結果の詳細は第1表に示した通りである．

以上を要約すると

1)　有機炭素量，全窒素量及びC/Nはいづれも潮目附近で著しく変動する．

2)　有機炭素量と全窒素量及びC/Nの間には夫々比例的関係が成立する．

3)　有機炭素量，全窒素量及びC/Nはいづれも水深70～80mのところで最高値を示す．

終りに，東支那海の海況その他につき御指導を頂いた長崎海洋気象台加藤威夫技官に厚く感謝する．又，底土試料の採集について御援助頂いた西海区水産研究所，長崎県水産試験場調査員各位に深謝する．

(昭和33年10月　日本化学会秋季研究発表会（1部）
34年4月　日本海洋学会年会で発表)

文　献

1)　浜田，細川(1959)：東支那海底土の泥土成分について，本誌 **15** No. 2 (1959)

2)　例えば浜口，他(1954)：日本海底土の化学組成：日本化学雑誌 **74**, 761 (その他)
K. KATO (1956) : Chemical Investigations on Marine Humas in Bottom Sediments. Memo. Facul. Fish, Hokkaido Unive. **4**, No. 2
新野(1958)：大陸棚漁場底質の有機炭素分布（日本海洋学会年会講演）

3)　例えば EMERY, K. O. & NIINO, H (1957) :Sediments of Shallow Portions of East China Sea and South China Sea (第9回太平洋学術会議報告)

4)　KOYAMA, T. : J. Earth Sci. Nagoya Univ. **2**, 5—14 (1954)

Table 1. Analytical data of sediments.

Name of Boat	Samp. No.	Date of Smapling	Place Lat. N	Place Long E	Depth (M)	Type	Mud (%) <120 mesh	Ignition Loss (%)	Org. C (%)	Total-N (mg/100g)	C/N	Carbonate (CO_2%) ※	Soluble SiO_2 (%) ※
CHOSUI	1	1957 18	31°-00′	126°-30′	81.8	fM	—	5.16	1.04	105.77	9.8	4.80	0.755
〃	2	Feb. 18	31-25～28	126-03～15	75.0	sM	98.2	4.92	0.67	—	—	3.91	0.723
〃	3	〃 19	31-00	124-30	54.0	sM	81.7	4.07	0.78	103.91	7.5	3.37	1.412
〃	4	〃 20	32-00	123-30	44.0	S	5.5	2.04	0.38	10.59	3.58	0.86	0.642
〃	5	〃 20	33-00	123-30	37.0	mS	57.0	4.02	0.67	112.80	5.92	3.11	0.394
〃	6	〃 20	34-00	123-30	68.0	fM	99.2	3.93	0.36	99.90	3.6	1.83	0.866
〃	7	〃 21	34-15	123-45	71.0	fM	—	—	0.39	—	—	1.69	0.856
〃	8	〃 22	34-10	123-50	72.0	fM	—	3.78	1.16	—	—	1.59	0.918
〃	9	〃 26	35-00	123-30	78.0	fM	—	3.63	0.77	—	—	1.31	0.742
〃	10	〃 26	34-35	123-10	74.0	fM	99.5	4.05	0.67	—	—	1.33	0.599
〃	11	〃 26	36-00	122-30	64.0	fM	100.0	3.67	1.09	186.12	5.85	0.75	1.155
〃	12	〃 27	35-00	122-30	64.0	fM	94.2	3.47	0.78	135.46	5.77	1.33	0.978
〃	13	〃 27	35-00	121-30	40.0	mS	81.0	2.35	0.76	33.70	2.25	0.98	0.648
〃	14	March 2	34-45	123-38	76.0	fM	83.7	3.98	1.16	—	—	1.37	0.563
〃	15	〃 4	34-00	122-30	54.0	fM	—	4.07	0.49	75.47	6.49	2.38	0.680
〃	16	〃 16	31-00	127-30	131.0	S	15.3	2.79	0.66	35.48	18.5	2.80	0.505
〃	17	〃 16	31-00	126-30	89.0	SM	86.1	5.70	0.78	128.46	6.31	5.34	0.911
〃	18	〃 16	31-00	125-30	64.0	SM	99.8	5.11	0.58	69.25	8.37	3.80	0.639
〃	19	〃 17	28-57.5	123-00	70.0	fM	69.0	4.35	0.74	152.79	4.83	2.59	1.443
〃	20	〃 18	28-36	122-43	69.0	SM	88.6	4.87	1.93	133.68	14.4	3.00	0.963
〃	21	〃 22	27-33	121-50	68.0	fM	100.0	4.94	0.54	117.80	4.57	2.22	0.789
〃	22	〃 30	27-30	122-38	90.0	mS	45.2	7.64	0.21	46.14	4.55	5.16	0.663
〃	23	〃 30	28-00	123-30	88.0	sh mS	44.0	3.07	0.72	62.14	11.5	6.43	0.719
〃	24	〃 30	28-24	124-30	94.0	sh S	26.2	4.45	—	41.70	—	4.76	0.783
TSURU	25	〃 15	29-30	127-30	140.0	sh S	23.9	5.68	—	10.73	—	—	—
〃	26	〃 17	29-36	125-58	86.0	mS	52.5	7.32	0.22	19.68	11.1	2.71	—
〃	27	〃 17	29-39	125-10	86.0	mS	26.7	6.23	0.51	36.64	3.9	2.53	—
〃	28	〃 17	29-43	124-22	80.0	mS	52.2	8.70	0.67	43.72	15.3	3.08	—
〃	29	〃 17	29-45	124-00	66.0	sh mS	37.8	7.46	—	24.86	—	—	—
〃	30	〃 17	29-00	124-40	90.0	mS	48.7	9.92	—	39.00	—	—	—
〃	31	〃 17	28-33	125-14	112.0	S	38.1	8.33	—	15.73	—	—	—
〃	32	〃 17	28-54	124-48	—	sh S	30.2	7.75	—	20.15	—	—	—
〃	33	〃 17	28-23	124-50	102.0	S	19.3	7.27	—	19.68	—	—	—
〃	34	〃 19	27-38	124-06	104.0	S	25.3	12.71	—	33.34	—	—	—
〃	35	〃 19	27-52	124-33	—	sh mS	45.4	13.31	0.57	34.76	16.3	3.87	—
〃	36	〃 19	27-00	123-00	102.0	sh S	14.7	13.69	—	24.39	—	—	—
〃	37	〃 20	27-20	124-21	108.0	S	24.0	15.81	—	34.29	—	—	—
〃	38	〃 20	27-32	124-52	—	S	42.0	18.86	—	48.42	—	—	—
〃	39	〃 22	28-30	125-47	118.0	S	63.6	16.96	—	48.42	—	—	—
〃	40	〃 22	28-58	125-40	110.0	S	17.5	8.75	—	20.62	—	—	—
SOYO	41	June 12	30-47	126-33	85.0	mS	58.5	8.29	1.04	76.70	13.55	4.71	—
〃	42	〃 12	30-34.2	126-56.5	95.0	mS	34.2	7.45	0.87	48.42	17.9	6.19	0.064
〃	43	〃 13	30-16	127-58.5	400.0	sM	83.2	16.87	0.78	88.49	8.81	7.80	0.325

〃	44	〃	13	30-01	127-01	107.0	mS	40.3	8.21	0.67	46.54	14.4	3.60	0.325
〃	45	〃	13	30-10	126-29	90.0	mS	57.4	9.02	0.24	75.29	3.1	6.12	0.898
〃	46	〃	13	30-20.1	126-00	84.0	mS	81.6	9.59	0.48	77.18	6.21	3.86	0.034
〃	47	〃	14	30-29	125-29	70.0	mS	67.8	7.48	0.31	76.23	4.06	3.68	1.046
〃	48	〃	14	29-47.5	125-31.5	170.0	sh mS	27.8	9.45	0.53	41.36	12.8	4.31	0.982
〃	49	〃	14	29-35	126-04	100.0	mS	48.6	8.76	0.31	53.14	5.83	6.21	0.513
〃	50	〃	18	31-30	127-31	140.0	mS	26.1	17.04	0.40	39.00	10.2	6.14	0.505
〃	51	〃	14	31-49	126-05	78.0	fM	88.0	11.02	0.95	81.42	11.67	2.95	0.391
〃	52	〃	14	31-47	124-58	44.0	mS	33.6	4.83	0.68	44.18	15.38	2.29	0.329
〃	53	〃	15	31-47	123-54	47.0	sM	91.6	8.93	0.67	49.84	13.56	4.41	0.590
〃	54	〃	16	34-13	122-45	60.0	sM	91.1	5.56	0.56	54.08	10.3	1.50	0.265
〃	55	〃	17	36-02	123-45	76.0	fM	99.9	9.89	0.27	180.39	15.0	0.91	0.791
〃	56	〃	17	34-04	123-50	80.0	sM	87.6	8.73	0.45	110.16	4.09	2.60	0.424
〃	57	〃	19	30-23	123-53	63.0	mS	88.8	8.37	0.50	82.36	6.00	3.32	0.471
〃	58	〃	21	30-48	126-30	90.0	sM	85.3	10.95	0.27	95.96	2.81	6.41	0.338
CHOSUI	59	〃	16	31-00	126-30	85.0	fM	96.2	11.48	0.79	119.80	6.59	3.87	0.017
〃	60	〃	16	31-00	125-30	56.0	sM	56.7	6.35	0.56	101.14	5.54	4.56	0.049
〃	61	〃	17	31-00	124-00	48.0	mS	40.0	4.57	0.75	33.58	2.23	2.97	0.514
〃	62	〃	18	33-00	123-00	34.0	mS	31.6	3.69	0.26	29.84	8.7	3.49	0.017
〃	63	〃	22	30-30	123-30	61.0	mS	94.1	—	0.77	52.96	14.5	3.52	—
〃	64	〃	22	29-59	123-19	75.0	sM	94.5	7.30	0.78	69.14	11.2	3.86	0.714
〃	65	〃	23	29-30	123-15	66.0	mS	77.1	7.81	0.30	86.13	3.49	4.06	0.455
〃	66	〃	23	29-03	122-55	64.0	fM	99.7	10.33	0.66	143.90	4.58	2.85	1.422
〃	67	〃	25	30-04	125-10	66.0	mS	56.7	5.80	0.56	52.25	10.7	6.55	0.030
KORYO	68	Aug.	8	31-13	126-24	83.0	sM	78.8	7.55	0.19	111.00	1.7	2.37	1.500
〃	69	〃	9	30-46	125-51	69.0	sM	73.8	8.41	0.19	72.56	2.6	2.51	1.070
〃	70	〃	9	30-19	125-17	58.0	mS	26.0	4.13	0.15	47.27	3.17	1.74	1.310
〃	71	〃	9	29-52	124-57	60.0	mS	58.8	6.50	0.13	56.37	2.30	1.59	1.180
〃	72	〃	10	30-02	124-13	55.0	mS	76.7	6.31	0.12	54.13	2.21	1.40	0.750
〃	73	〃	11	30-27	123-58	53.0	shS	21.9	5.10	0.10	34.53	2.80	1.21	1.390
〃	74	〃	12	30-34	124-32	50.0	mS	50.7	5.05	0.11	54.13	2.03	1.03	1.370
〃	75	〃	13	30-59	124-09	42.0	S	37.0	5.82	0.15	82.35	1.83	1.25	2.080
〃	76	〃	14	32-09	123-20	40.0	shS	5.6	2.83	0.12	30.00	4.00	1.01	—
〃	77	〃	14	33-05	122-47	34.0	fM	98.0	7.25	0.22	62.22	3.48	2.09	1.610
〃	78	〃	16	31-22	123-48	46.0	sM	82.7	6.90	0.35	83.71	4.18	1.10	1.240

※ Described on the next report.

The Journal of the Oceanographical Society of Japan
Vol. 15, No. 2 June 1959

The Ekman Spiral for a Linearly Varying Eddy Viscosity

F. C. W. OLSON**

For the past fifty years, the Ekman Spiral has occupied a prominent place in theoretical oceanography. Since the Spiral seems to be elusive when sought in the ocean, it is easy to conclude that the mathematical elegance in the theoretical treatment is responsible in part for the continued popularity which the Ekman Spiral enjoys. The purpose of this note is to call attention to another mathematically elegant treatment of the spiral for the case where the eddy viscosity is assumed to vary linearly with the depth and the depth is finite. Of particular interest is the close analogy between this problem and that of "skin effect" in a cylindrical conductor carrying an alternating current.

Following the classical derivation of the Ekman Spiral, we shall take the equations of motion in the form given by Sverdrup *et al* (1942):

$$\frac{\rho v}{c}+\frac{d}{dz}\left(A\frac{du}{dz}\right)=0 \qquad (1)$$

$$-\frac{\rho u}{c}+\frac{d}{dz}\left(A\frac{dv}{dz}\right)=0 \qquad (2)$$

and we shall assume that the eddy viscosity is given by

$$A=a(d-z) \qquad (3)$$

where

a = constant
$c=\dfrac{1}{2\omega \sin\varphi}$
φ = latitude (assumed constant)
ω = angular velocity of the earth
d = depth of water
ρ = density
x, y, z left handed coordinate system with z measured from the surface downward
u, v velocity components in the x, y direction

We shall further assume that the wind stress τ_a is directed along the y axis and that

$$\left(A\frac{dv}{dz}\right)_{z=0}=-\tau_a \qquad (4)$$

$$\left(A\frac{du}{dz}\right)_{z=0}=0 \qquad (5)$$

On making the substitution

$$z=d-\frac{ac\zeta^2}{4\rho} \qquad (6)$$

the following equations are obtained from equations (1), (2), (3), (4) and (5):

$$v+\frac{1}{\zeta}\frac{du}{d\zeta}+\frac{d^2u}{d\zeta^2}=0 \qquad (7)$$

$$-u+\frac{1}{\zeta}\frac{dv}{d\zeta}+\frac{d^2v}{d\zeta^2}=0 \qquad (8)$$

$$\left(\frac{dv}{d\zeta}\right)_{\zeta_0}=\frac{\tau_a c\zeta_0}{2\rho d} \qquad (9)$$

$$\left(\frac{du}{d\zeta}\right)_{\zeta_0}=0 \qquad (10)$$

where

$$\zeta_0=(4\rho d/ac)^{\frac{1}{2}} \qquad (11)$$

corresponds to $z=0$.

Multiplying (8) by $i=\sqrt{-1}$, adding this to (7) and setting

$$V=u+iv \qquad (12)$$

we obtain

$$\frac{d^2V}{d\zeta^2}+\frac{1}{\zeta}\frac{dV}{d\zeta}-iV=0 \qquad (13)$$

whose solution is (McLachlan, 1955, page 190*)

$$V=C_1J_0(\zeta i^{\frac{3}{2}})+C_2K_0(\zeta i^{\frac{1}{2}}) \qquad (14)$$

Since the velocity at the bottom ($\zeta=0$) must be finite, $C_2=0$. The solution may then be written

* Received Jan. 26, 1959.

** U. S. Navy Mine Defense Laboratory Panama City, Florida

* The notation and treatment of Bessel functions in this paper follows closely that given by McLachlan. For this reason no explanatory material will be given here.

$$V=C_1 J_0(\zeta i^{\frac{3}{2}})=C_1(\mathrm{ber}\,\zeta+i\,\mathrm{bei}\,\zeta)$$
$$=C_1 M_0(\zeta)e^{i\theta_0(\zeta)} \qquad (15)$$

The boundary conditions (9) and (10) may be expressed as

$$\left(\frac{dV}{d\zeta}\right)_{\zeta_0}=\left(\frac{du}{d\zeta}+i\frac{dv}{d\zeta}\right)_{\zeta_0}=i\frac{\tau_a c\zeta_0}{2\rho d} \qquad (16)$$

we have then

$$\left(\frac{dV}{d\zeta}\right)_{\zeta_0}=C_1(\mathrm{ber}'\,\zeta+i\,\mathrm{bei}'\,\zeta)_{\zeta_0}$$
$$=C_1 M_1(\zeta_0)e^{i\left[\theta_1(\zeta_0)-\frac{\pi}{4}\right]}=i\frac{\tau_a c\zeta_0}{2\rho d} \qquad (17)$$

Solving for C_1 and substituting in (15) we get

$$V=V_0\frac{\zeta_0}{2}\frac{M_0(\zeta)}{M_1(\zeta_0)}e^{i\left[\theta_0(\zeta)-\theta_1(\zeta_0)+\frac{3\pi}{4}\right]} \qquad (18)$$

where

$$V_0=\frac{\tau_a c}{\rho d} \qquad (18a)$$

Since $\zeta_0 M_0(\zeta_0)/2M_1(\zeta_0)$ approaches unity as ζ_0 approaches zero (coorresponding to $z=d$), V_0 may be interpreted as the velocity at the bottom. we could also write (18) as

$$V=V_1\frac{M_0(\zeta)}{M_0(\zeta_0)}e^{i\left[\theta_0(\zeta)-\theta_1(\zeta_0)+\frac{3\pi}{4}\right]} \qquad (18b)$$

where

$$V_1=\frac{\tau_a c\zeta_0 M_0(\zeta_0)}{2\rho d M_1(\zeta_0)}=\tau_a\sqrt{\frac{c}{\rho A_0}}\frac{M_0(\zeta_0)}{M_1(\zeta_0)} \qquad (18c)$$

and $A_0=ad$.

In this case, V_1 is the surface velocity. Inspection of (18c) reveals that the surface velocity increases as the depth decreases.

The transport T is obtained by integrating (18) with respect to z from $z=0$ to $z=d$. Doing so we find that

$$T=\frac{\tau_a c}{\rho} \qquad (19)$$

Thus the transport is 90° cum sole to the wind and its magnitude is just that predicted for the simple Ekman theory (SET).

The angle ψ between the current and the wind is found from (18).

We have

$$\tan\psi=\frac{u}{v}=\frac{\cos\left(\theta_0-\theta_1+\frac{3\pi}{4}\right)}{\sin\left(\theta_0-\theta_1+\frac{3\pi}{4}\right)}$$
$$=\tan\left(\theta_1-\theta_0-\frac{\pi}{4}\right) \qquad (20)$$

and

$$\psi=\theta_1(\zeta_0)-\theta_0(\zeta)-\frac{\pi}{4} \qquad (21)$$

Since ζ varies from 0 to ζ_0, the total angle through which the current turns from top to bottom is given by $\theta_0(\zeta_0)-\theta_0(0)=\theta_0(\zeta_0)$. Selected values of $\theta_0(\zeta_0)$ are given in Column II of Table 1. The angle between the surface current and the wind is

$$\psi_0=\theta_1(\zeta_0)-\theta_0(\zeta_0)-\frac{\pi}{4}$$

values of which are given in Column IV of Table 1. For very shallow waters, the surface current approaches a direction 90° cum sole to the wind. This is perhaps the most striking deviation of this theory from the SET but it is consistent with Fjeldstad (1929) who obtained deviations in excess of 45° for shallow waters when the eddy viscosity varies as the 3/4 power of the distance from the bottom. For deep waters, ψ_0 approaches 45°, in agree-

Table 1. Selected values of the polar forms of the ber and bei functions.

I	II	III	IV	V	VI	VII
ζ	θ°_0	θ°_1	$\theta_1-\theta_0-45$	M_0	M_1	$\zeta M_0/2M_1$
0	0	135	90	1.000	0.000	1.000
0.1	0.14	135.07	89.93	1.000	0.0500	1.000
0.5	3.58	136.79	88.21	1.001	0.2500	1.001
1	14.23	142.16	82.93	1.016	0.5013	1.014
2	52.29	163.27	65.98	1.229	1.041	1.181
5	178.93	273.55	49.62	6.231	5.809	2.682
10	382.10	474.28	47.18	149.8	144.7	5.18
20	787.52	878.57	46.05	1.242×10^5	1.220×10^5	10.18
45	1800.53	1890.98	45.45	3.929×10^{12}	3.899×10^{12}	22.68

ment with the SET.

Analogy with the "Skin Effect."

The phenomenon of the skin effect in the case of a wire carrying an alternating current is well known. It is remarkable that equation (18) describes this phenomenon exactly. Let the radius of the wire be a, r be the distance from the center, σ_m be the mean current density and σ be the current density. McLachlan (1955, page 157) gives the following equation for σ,

$$\sigma=\sigma_m\frac{ka}{2}\frac{M_0(kr)}{M_1(ka)}e^{i\left[\theta_0(kr)-\theta_1(ka)+\frac{3\pi}{4}\right]}$$

Comparing (18a) and (19), we see that V_0 is the mean transport per unit depth, corresponding to mean current density; ζ corresponds to kr and ζ_0 to ka. Even the phase relation indicated in the exponent is exactly analogous. Further, ka is the same function of resistivity and frequency as ζ_0 is of eddy viscosity and frequency of the earth's rotation.

Acknowledgements.

The author wishes to thank Dr. K. Yoshida for having pointed out to him not only a factor of 2 which erroneously occurred in the derivation but also a questionable interpretation of equation (18c). Both corrections have been made in this paper. Thanks are also due to Dr. T. Ichiye for his suggestions during the preparation of this paper.

References

Fjeldstad, J. E., 1929. Ein Beitrag zur Theorie der Winderzeugten Meeresströmungen. Gerlands Beit. z. Geophysik, Bd. 23.

Mclachlan, N. W., 1955. "Bessel Functions for Engineers." Oxford, Clarendon Press.

Sverdrup, H. U., M. W. Johnson and R. H. Fleming, 1942. "The Oceans." New York, Prentice-Hall.

The Journal of the Oceanographical Society of Japan
Vol. 15, No. 2 June 1959

The Polar Forms of Sinh $i^{\frac{1}{2}}x$, etc. and Their Application to the Ekman Spiral*

F. C. W. Olson**

In some theoretical studies, the final results are expressed as complicated functions involving both hyperbolic and trigonometric functions. Too often, the functions are so involved that it becomes impossible to interpret them without recourse to laborious computations involving several parameters and expressing the results as a series of curves. Even so, physical interpretation under such circumstances can be extremely difficult and many features of the solution will be lost.

As an example, consider the case of the Ekman Spiral for a finite depth and constant eddy viscosity. Physically, we assume water of constant depth and a constant uniform wind of velocity W blowing over the surface. Taking the Coriolis acceleration into consideration, the velocity components u and v (in the x and y directions) are (Hidaka, 1955)

$$u = A \operatorname{Sinh} a(h-z) \cos a(h-z) - B \operatorname{Cosh} a(h-z) \sin a(h-z) \quad (1)$$

$$v = A \operatorname{Cosh} a(h-z) \sin a(h-z) + B \operatorname{Sinh} a(h-z) \cos a(h-z) \quad (2)$$

where

$$A = \frac{\tau_a D}{\pi\mu} \frac{\operatorname{Cosh} ah \cos ah + \operatorname{Sinh} ah \sin ah}{\operatorname{Cosh} 2ah + \cos 2ah} \quad (3)$$

$$B = \frac{\tau_a D}{\pi\mu} \frac{\operatorname{Cosh} ah \cos ah - \operatorname{Sinh} ah \sin ah}{\operatorname{Cosh} 2ah + \cos 2ah} \quad (4)$$

$a = \pi/D$
τ_a = wind stress
h = depth of water
z = depth coordinate, positive downwards
$D = \pi\sqrt{\mu/\rho\omega \sin\varphi}$
μ = eddy viscosity
ρ = density
ω = angular velocity of the earth
φ = latitude (assumed constant)

Obviously, one cannot deduce anything about the behavior of the wind current merely by looking at equations (1), (2), (3) and (4). The best that can be done is to compute the currents at a particular depth under a given set of conditions.

The writer (Olson, 1959) has derived the equations for the Ekman Spiral for the case similar to this one except that the eddy viscosity was assumed to vary linearly with the depth. Although the solution involved the more sophisticated Modified Bessel Functions, the form of solution was such that the properties were readily apparent. If then, the solution for a simpler case is awkward and inelegant, one may conjecture that it is expressed in an unpropitious form and that there must exist a better way of expressing the solution. This conjecture was investigated by studying the properties of functions of the type Cosh x·cos x, Sinh x·sin x, etc. It was found that these functions are obvious and interesting generalizations of the exponential and trigonometric functions, and that they are conveniently studied when expressed as Sinh $i^{\frac{1}{2}}x$, etc. They are closely related to the "hyperbolic functions of order n" (where $n=4$) for which a brief review and pertinent literature is given by Erdelyi, *et al* (1955).

The polar forms of Sinh $i^{\frac{1}{2}}x$, Cosh $i^{\frac{1}{2}}x$ and Tanh $i^{\frac{1}{2}}x$.

Let

$$\sin x = s$$
$$\cos x = c$$
$$\operatorname{Sinh} x = S$$
$$\operatorname{Cosh} x = C$$

Using identities of the form $\operatorname{Sinh} x = \frac{1}{2}(e^{x} - e^{-x})$, it can be shown that

$$\operatorname{Sinh}(i^{\frac{1}{2}}x\sqrt{2}) = M_s(x)\, e^{iP_s(x)} \quad (5)$$

* Received Mar. 1, 1959.
** U. S. Navy Mine Defense Laboratory Panama City, Florida.

$$\mathrm{Cosh}(i^{\frac{1}{2}}x\sqrt{2}) = M_c(x)\,e^{iP_c(x)} \quad (6)$$

$$\mathrm{Tanh}(i^{\frac{1}{2}}x\sqrt{2}) = M_T(x)\,e^{iP_T(x)} \quad (7)$$

where

$$M_s^2(x) = S^2c^2 + C^2s^2 \quad (8)$$

$$M_c^2(x) = C^2c^2 + S^2s^2 \quad (9)$$

$$M_T(x) = M_s(x)/M_c(x) \quad (10)$$

$$P_s(x) = \tan^{-1}(Cs/Sc) \quad (11)$$

$$P_c(x) = \tan^{-1}(Ss/Cc) \quad (12)$$

$$P_T(x) = \tan^{-1}(cs/CS) \quad (13)$$

The arguments of the right hand sides of (5), (6) and (7) are x instead of $\sqrt{2}\,x$.

Table 1 gives values of M_s, M_c, M_T, P_s, P_c and P_T for $0 \leqslant x \leqslant 6.2832$ corresponding to $0° \leqslant x \leqslant 360°$ in 15° increments. Further, the Table gives values of Ss, Cc, Sc and Cs, as well as these four functions normalized by dividing them by $\sqrt{C^2c^2+S^2s^2}$.

The normalized Cc, Cs, Ss and Sc functions.

These are shown in Figure 1. For x greater than π they closely approximate the cosine and sine functions. This is particularly important in trying to interpret more complicated expressions involving them. For $0 \leqslant x \leqslant \pi$, the functions are well behaved and only the normalized Sc function departs strongly from the trigonometric function.

Table 1a.

Deg.	Radians	Ss	SC	Cs	Cc
0	0.0000	0	0	0	1.000
15	0.2618	0.075	0.281	0.267	0.998
30	0.5236	0.274	0.475	0.570	0.987
45	0.7854	0.614	0.614	0.936	0.936
60	1.0472	1.08	0.625	1.39	0.800
75	1.3090	1.66	0.444	1.92	0.514
90	1.5708	2.15	0	2.51	0
105	1.8326	2.94	-0.789	3.10	-0.830
120	2.0944	3.46	-2.00	3.57	-2.06
135	2.3562	3.70	-3.70	3.76	-3.76
150	2.6180	3.41	-5.91	3.44	-5.97
165	2.8798	2.30	-8.58	2.31	-8.63
180	3.1416	0	-11.6	0	-11.6
195	3.4034	-3.89	-14.5	-3.90	-14.6
210	3.6652	-9.76	-16.9	-9.77	-16.9
225	3.9270	-17.9	-17.9	-17.9	-17.9
240	4.1888	-28.5	-16.5	-28.6	-16.5
225	4.4506	-41.4	-11.1	-41.4	-11.1
270	4.7124	-55.6	0	-55.6	0
285	4.9742	-69.8	18.7	-69.8	18.7
300	5.2360	-81.4	47.0	-81.4	47.0
315	5.4978	-86.4	86.4	-86.4	86.4
330	5.7596	-79.3	137	-79.3	137
345	6.0214	-53.4	199	-53.4	199
360	6.2832	0	268	0	268

Table 1b.

Deg.	(Ss)*	(Sc)*	(Cs)*	(Cc)*
0	0	0	0	1.000
15	0.075	0.281	0.267	0.998
30	0.268	0.464	0.556	0.964
45	0.548	0.548	0.836	0.836
60	0.804	0.464	0.030	0.594
75	0.955	0.256	1.105	0.296
90	1.000	0	1.169	0
105	0.962	-0.258	1.013	-0.272
120	0.859	-0.496	0.886	-0.512
135	0.700	-0.700	0.714	-0.714
150	0.496	-0.859	0.501	-0.868
165	0.258	-0.961	0.259	-0.966
180	0	-0.996	0	-1.000
195	-0.258	-0.963	-0.259	-0.966
210	-0.500	-0.865	-0.500	-0.866
225	-0.710	-0.710	-0.710	-0.710
240	-0.866	-0.500	-0.866	-0.505
255	-0.966	-0.259	-0.966	-0.259
270	-1.000	0	-1.000	0
285	-0.966	0.259	-0.966	+0.259
300	-0.866	0.500	-0.866	0.500
315	-0.707	0.707	-0.707	0.707
330	-0.500	0.866	-0.500	0.866
345	-0.258	0.963	-0.258	0.963
360	0	1.000	0	1.000

Table 1c.

Deg.						
0	1.000	0	0	45.0	0	45.0
15	1.001	0.388	0.388	46.3	4.3	42.0
30	1.024	0.742	0.724	50.2	15.5	34.7
45	1.119	1.119	1.000	56.7	33.3	23.4
60	1.346	1.521	1.130	65.7	53.5	12.2
75	1.736	1.969	1.134	77.0	72.7	4.3
90	2.146	2.508	1.169	90.0	90.0	0
105	3.056	3.195	1.046	104.3	105.7	-1.4
120	4.029	4.091	1.015	119.3	120.8	-1.5
135	5.276	5.275	1.000	134.5	135.3	-0.8
150	6.872	6.837	0.995	149.8	150.3	-0.5
165	8.927	8.884	0.995	164.9	165.1	-0.2
180	11.59	11.55	0.996	180	180.0	0
195	15.06	15.02	0.997	195	194.9	+-0.1
210	19.53	19.52	0.999	210	210	0
225	25.26	25.37	1.004	225	225	0
240	32.96	32.97	1.000	240	240	0
255	42.85	42.86	1.000	255	255	0
270	55.65	55.65	1.000	270	270	0
285	72.21	72.21	1.000	285	285	0
300	93.99	93.99	1.000	300	300	0
315	122.2	122.2	1.000	315	315	0
330	158.6	158.6	1.000	330	330	0
345	206.0	206.0	1.000	345	345	0
360	267.8	267.8	1·000	360	360	0

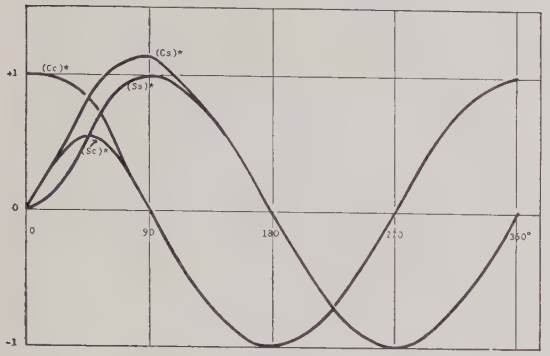


Fig. 1. "Normalized" Cc, Cs, Sc and Ss functions.

The Ekman Spiral as an example.

Instead of following the usual treatment which leads to (1), (2), (3) and (4), we shall employ complex variables to their fullest extent and will show that by so doing the final results can be expressed in an elegant and physically understandable manner.

The equations of motion as given by Sverdrup *et al* (1942) are:

$$\frac{\rho}{\mu c}v+\frac{d^2u}{dz^2}=0 \tag{14}$$

$$-\frac{\rho}{\mu c}u+\frac{d^2v}{dz^2} \tag{15}$$

to which we add the conditions that

$$u=v=0 \text{ at } z=h \tag{16}$$

$$\frac{dv}{dz}=-\frac{\tau_a}{\mu} \text{ at } z=0 \tag{17}$$

$$\frac{dv}{dz}=0 \text{ at } z=0 \tag{18}$$

Multiplying (15) by i, adding to (14) and setting

$$V=u+iv \tag{19}$$

we get

$$\frac{d^2V}{dz^2}-\frac{\rho}{\mu c}iV=0 \tag{20}$$

Also, from (16),

$$V=0 \text{ at } z=h \tag{21}$$

and

$$\frac{dV}{dz}=-\frac{i\tau_a}{\mu} \text{ at } z=0. \tag{22}$$

The substitution

$$z=\sqrt{\frac{\mu c}{\rho}}\zeta \tag{23}$$

takes (20), (21) and (22) into

$$\frac{d^2V}{d\zeta^2}-i=0 \tag{24}$$

$$V=0 \text{ at } \zeta=\zeta_0=h\sqrt{\frac{\mu c}{\rho}} \tag{25}$$

$$\frac{dV}{d\zeta}=-i\tau_a\sqrt{\frac{c}{\mu\rho}}=-ik \text{ at } \zeta=0 \tag{26}$$

The solution of (24) is

$$V=A_1e^{i\frac{1}{2}\zeta}+A_2e^{-i\frac{1}{2}\zeta} \tag{27}$$

Evaluating the constants A_1 and A_2 by imposing the boundary conditions, we find that

$$V=\tau_a\sqrt{\frac{c}{\mu\rho}}\frac{M_s\left[\frac{\sqrt{2}}{2}(\zeta_0-\zeta)\right]}{M_c\left[\frac{\sqrt{2}}{2}\zeta_0\right]}$$

$$e^{i\left\{P_s\left[\frac{\sqrt{2}}{2}(\zeta_0-\zeta)\right]-P_T\left[\frac{\sqrt{2}}{2}\zeta_0\right]+\frac{\mu}{4}\right\}} \tag{28}$$

This is the desired result, equivalent to (1), (2), (3) and (4). Instead of expressing the velocity in terms of its components u and v, the magnitude is simply $\tau_a(c/\mu\rho)^{\frac{1}{2}}(M_s/M_c)$ and the direction is given by $P_s-P_T+\frac{\pi}{4}$. Further, the variation of magnitude with depth is given by M_s; the variation of direction with depth is given by P_s. These functions are tabulated in Table 1 and allow us to interpret (28) with little difficulty.

References

Erdelyi, A., *et al*, 1955, "Higher Transcendental Functions, Vol. III, New York, McGraw-Hill.

Hidaka, Koji, 1955. "Ocean Currents" (In Japanese) Iwanami Pub. Co.

Olson, F. C. W., 1955. "The Ekman Spiral for a Linearly Varying Eddy Viscosity," J. Oceanographical Society of Japan, this issue.

Sverdrup, H. C., M. H. Johnson and R. H. Fleming, 1942. "The Oceans," New York, Prentice-Hall.

The Journal of the Oceanographical Society of Japan
Vol. 15, No. 2 June 1959

簡単な自記流速計*

——南日—岩宮流速計——

南日俊夫**, 岩宮政雄***, 赤松英雄****

A New Simple Current Profile Recorder

——NAN'NITI—IWAMIYA current meter——

Tosio NAN'NITI, Masao IWAMIYA, Hideo AKAMATSU

Abstract: A new simple current meter is presented which can record both the current speed and direction on two smoked glass plates. Field experiments have shown that the vertical profile of ocean currents can be determined successfully and rapidly by it.

1. 測　器

流速計は煤ぬり角型及び丸型の二枚のガラス板にそれぞれ測定深度，流速及びそれらの流向を描く．即ち Fig. 1 に示す如く，流速に比例して回転するプロペラの回転をウアームギヤによつて角

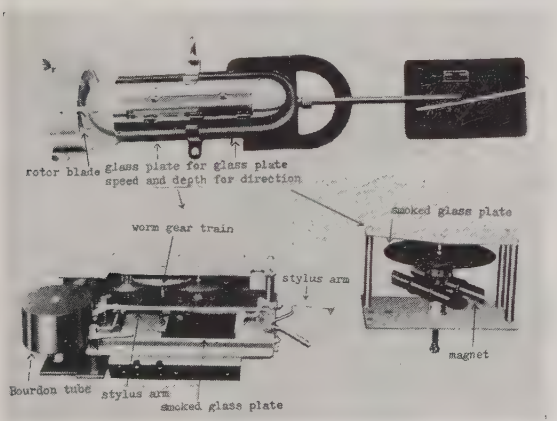


Fig. 1. Photographs of the complete and inner parts of the current profile recorder.

型のガラス板の支持板に伝えこのガラス板を水平に流速計の後尾方向に移動する．これに水圧によつて変化するブルドン管からの燐青銅のペン先が密着しているから，それぞれの測定層の水深とそれらの層の流速により階段状の軌跡をえがく．これらに目盛板を当てれば，測定深度及び流速が読みとれる．又この支持板の先から同様なペン先が，磁石によつて一定の方向を保つ丸型の煤ぬりガラス板の上に密着しているからペロペラの廻るに従つて，即ち角型ガラスの移動に従つて丸型ガラスの上に外側から内側に向つてそれぞれの測定深度に於ける流向を記録する．

流速計のプロペラの単位時間の回転数，従つてガラス板の単位時間の移動距離の読みの特性曲線は Fig. 2 の如くである．

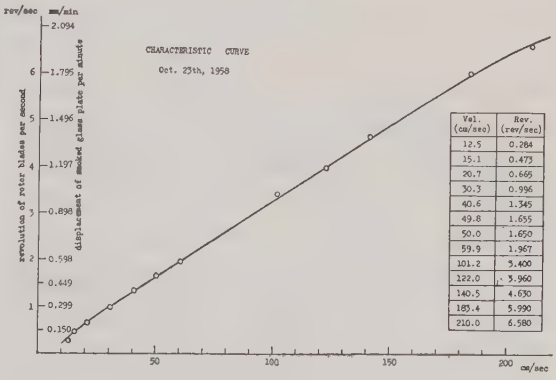


Fig. 2. Velocity calibration of the current meter.

* 1959 年 4 月 27 日受理.
** 気象研究所　Meteorological Research Institute,
*** 鶴見精機工作所　Tsurumi Seiki Kôsakusho Co.,
**** 気象庁　Japan Meteorological Agency.

2. 観測及びその結果

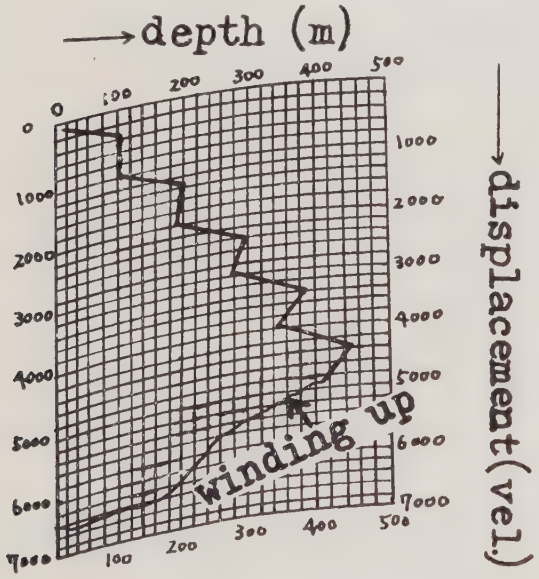
観測は凌風丸によつて漂泊しながら行なわれた．船が漂泊を始めると，その運動方程式は

$$m\frac{dv}{dt}=\alpha(V-v)^2$$

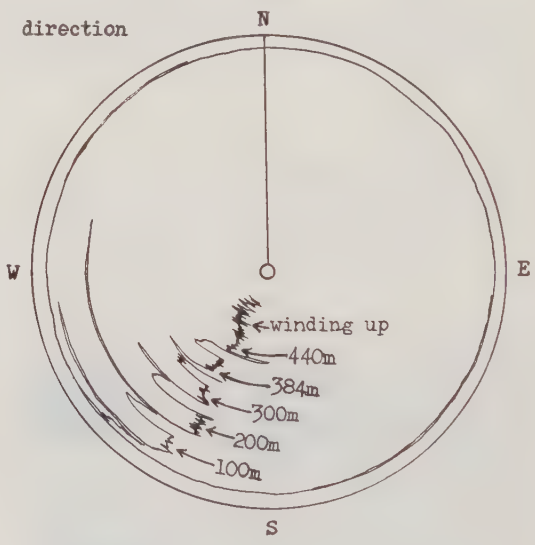
で表わされる．こゝに m は船の質量，v 及び V はそれぞれ船及び海流の速さとする．これをとけば

$$v=V-m(V-v_0)\,/\{m+\alpha(V-v_0)t\}$$

となる．但し v_0 は $t=0$ の船の速さである．従つて $t\to\infty$ で $v\to V$ となる．流速計は船からワイヤーで吊り下げられているので船と同じ速度，即ち V で運動するものとする．然るとき表面流 V を G.E.K. 観測の値で代用すれば，各層の相対速度を求め得る．併し表面流とそれ以深の層の速度の差が大きくなるとワイヤーの長さが一定だから流速計が測定時間中(5分～10分)の間に浮上し，St. 47 の例に見られる如く階段状から鋸歯状の記録となることもある(Fig. 3)．即ち 200 m 層で早くも浮上り現象を示し 200 m 層で 10 m, 300m 層で 20 m, 384 m 層で 40 m, 440 m 層で 25 m それぞれ浮上つている．この場合は風速が 13.5m/s, G.E.K. 観測の結果 V は 0.5kt であるから風圧による船の偏流が大きかつたためと考えられる．即ち凌風丸は風速 [m/sec] の $\frac{1}{16}$～$\frac{1}{20}$ [knot] 程度で流されるようだから，風速が 13.5 m/sec の時は係数 $\frac{1}{16}$ をとれば風圧流は 42 cm/sec となる．もつともこの風の連吹時間が問題でこれが長ければ当然こゝで考えている風圧流の一部が表層流 V，即ち G.E.K. 観測の値の中へ入つているとも考えられる．以下の資料の解析には風速 5 m/s 以下のもの即ち相当する風圧流 15 cm/sec 以下のものを扱い，一応 G.E.K. 観測の値に風圧流を加えてその値を以つて流速計が動かされていたものとす



a



b

Fig. 3. Example of record obtained at the station No. 47, which shows that the current meter moved upwards due to severe wind.

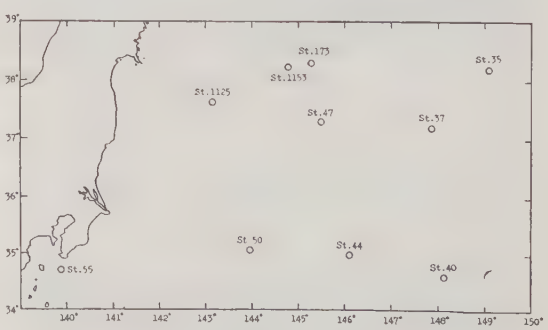


Fig. 4. Chart showing the observed stations.

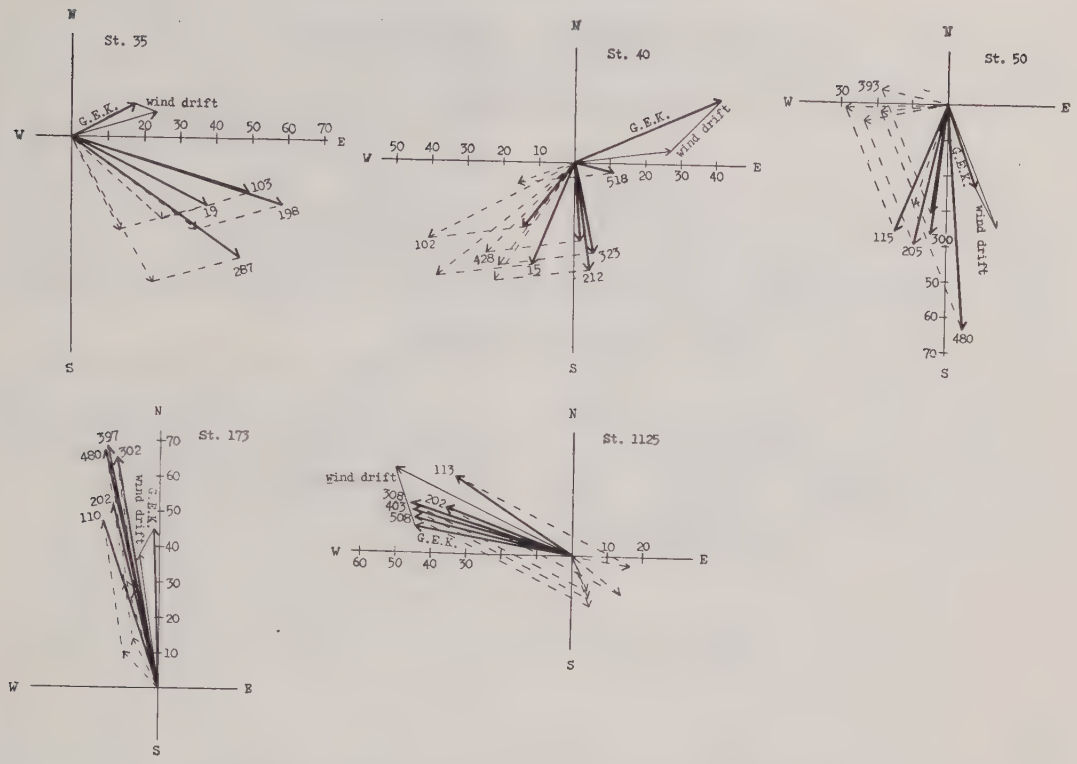


Fig. 5. Hodographs of G. E. K. observation, wind drift, relative velocity to the ship and the most probable velocity derived from them.

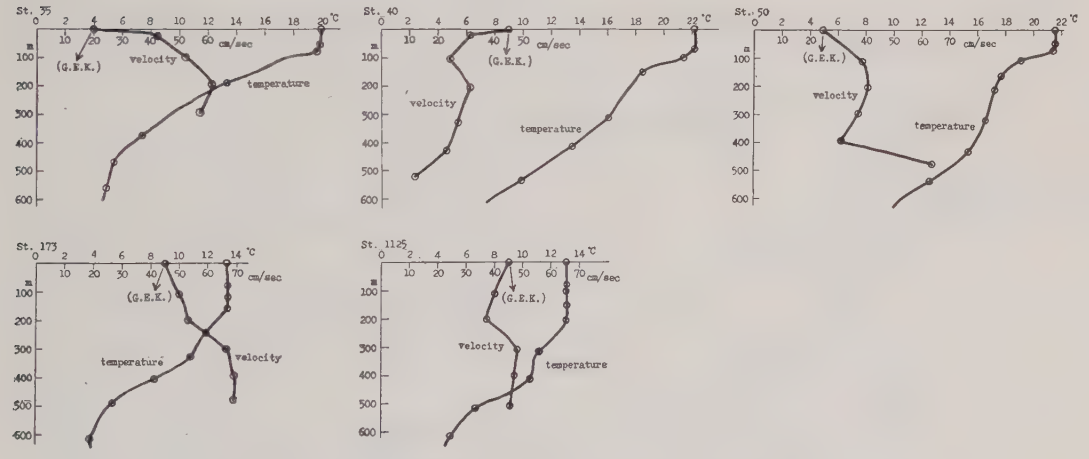


Fig. 6. Temperature and velocity profiles.

る．それ故この場合風圧流の推定の誤差は最大15 cm/sec 程度である．各測点の位置は Fig. 4 に示す通りであつてこれらから風速の小さい 5 cm/sec 以下の階段状の軌跡の場合のみをえらんで整理した結果を Fig. 5 に示す．又これらの速度及び水温の鉛直分布を Fig. 6 に示す．

これらの結果から云えることは東北沖の黒潮本流域では 500 m 層ではまだまだ流速大で 1 kt 程度である事はそんなに稀な事でない．その流速の鉛直構造は線型或は指数函数的に減ずる事は少

なく，200 m 層あたりに最大流速を有する抛物線形をなすか，又は St. 173, 1125 の如く 200～300 m の間で不連続的に変化する二層の流れと考えられるものがある．

St. 173, 1125 はいづれも二月の観測で温度躍層が 200 m に，他の点は十一月の観測で 100 m に存在する．これらの例にみられる如く海流速度は躍層の上と下で異り流速は躍層下で約 1.4 倍に増大することもある．流速の鉛直構造は従来考えられていた如く表層に最大値を有するように単純なものではなく外洋でも浅海又は河に於ける如く，海流系の $1/3$～$1/5$ 程度の深度（200 m 層）に最大値を有する抛物線の形となる事もある．気象学でよく知られているように風の鉛直構造は対数形或は冪函数形で表わされているが，これらは表面の性質，平均速度の大きさ，安定度等に関係する．従つて海面及び海底の性質のちがう二つの境界に境される海流の鉛直構造は上述の如く或る深さで最大流速を持つ形となる．風速が強く対流混合が盛んで躍層が深くなると一様な流れに近づき表層からの摩擦の及ぶ層がうすくなつて地衝流に近づいてくる．流向は右旋，左旋いずれの場合も同程度にある．

本研究の費用の一部は文部省科学研究費によつた．こゝに研究費の使用の機会を与えられた京都大学教授速水頌一郎博士，気象庁研修所長中野猿人博士に厚く御礼申し上げる．

The Journal of the Oceanographical Society of Japan
Vol. 15, No. 2 June 1959

本邦内湾の海洋化学的研究（第7報）
浦戸湾における溶存酸素消費作用について（その 2)*

山　本　広　志**

Oceanographical Studies on Japanese Inlets (7)
On the Consumption of Dissolved Oxygen in Urado Bay (Part 2)

Hiroshi YAMAMOTO

Abstract: In order to clarify the processes of oxygen consumption taking place in Urado Bay, the author has made a research on the sea water and suspension paying attention to reducing matter at the same time.

1. Correlative analysis of the ignition loss of suspension and the consumption of dissolved oxygen has shown that there is no significant correlation between the two.

2. It is inferred, therefore, that there are different constituents in the sediment and the suspension which take part in oxygen consumption.

3. The consumption of dissolved oxygen increases inwards along the center line of the bay. This fact suggests that river water may be the chief cause of pollution of the inlet.

1. 緒　言

陸水に含まれている懸濁物は海水中に入ると，電解質の作用を受けて沈降速度を増加させることが知[1]られているが，陸水の影響を受ける内湾では懸濁物の堆積が主として河口附近で大きい値を示している．この原因は河口附近で電解質の作用を強く受けはじめるために，この附近における懸濁物の堆積か他の区域に比べて大きいためと考えられる．従つてこれら懸濁物による酸素消費が直接海水中の溶存酸素の分布に影響を与えるものと思はれる．

本報では懸濁物について堆積量及び酸素消費量を測定したものでその結果について報告する．

2. 研究方法

第1図に示す様な地点で倉茂・太田[2]に準じて行つた．即ち内径 1.5～2.5 cm の試験管を 3～5 本支柱に結束し，潮汐による水深の変化を考慮して水面より2米の深さになるように打ち込み 9

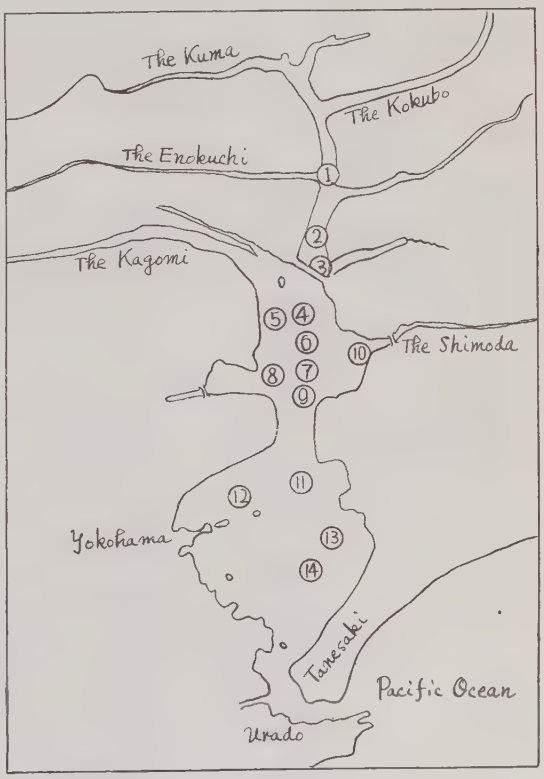


Fig. 1. Observational stations in Urado Bay.

* 1958 年9月5日受理

** 高知大学教育学部化学教室 Chemistry Institute, Faculty of Education, Kochi University

日間放置してこれに懸濁物を堆積させたのち，前報[3]と同様の方法で溶存酸素の消費量を求めた．またこの試料を3,000r.p.mの遠心分離により分離濾過後，恒量となる迄乾燥して次式により堆積量を求めた．即ち堆積量＝$\frac{\text{堆積した重量}}{\text{試験管の断面積}\times\text{日数}}$であり，これは設置した水深で水平面1 cm^{2}当りに1日間に堆積する量である．

Table 1. Sediments collected in each test tube and oxygen consumption by the sediments (July 7, 1955).

St. No.	Test tube No.	Sediment Weight (mg)	Oxygen Consumption (cc/g)
4	1	19.3	1.20
	2	19.8	1.25
	3	20.9	1.28
	4	21.2	1.26

本法では，海水の流動状況，潮汐の干満，試験管の設置状況などで堆積量に差異を生ずるものと考えられるが，同一地点での各試験管の堆積量及び溶存酸素消費量は第1表に示す如く大差がみられなかつたので各試験管の測定値を平均してその地点の測定値とした．

海水の溶存酸素消費量についての分析法は過マンガン酸カリウムの消費量により，沃素消費量は常法でそれぞれ定量した．その他はすべて前報[3]の通りである．

3. 結果及び考察

a. 海水の溶存酸素消費量および沃素消費量

本湾の海水の溶存酸素消費量および沃素消費量は，海水が陸水により汚染されるために潮汐による差異が著るしく落潮時には陸水が湾全域を覆うために，一般に表層の酸素消費量が大きい．然しながら溶存酸素の消費が大きいにもかゝわらず，たえず陸水による溶存酸素の供給があるためかその飽和度もかなり高い．

Table 2. Oxygen consumption and iodine consumption by seawater (May 5, 1958).

St. & Depth		Temp. (°C)	(*Cl*) ‰	Iodine Consumption (pp m/L)	Oxygen Consumption (cc/L)	Dissolved Oxygen (cc/L)	Degree of Saturation (%)
〔1〕	0	18.3	11.25	5.9	5.91	5.88	98
	1	18.6	13.01	23.5	5.10	6.53	111
	2	19.2	14.76	12.2	4.16	5.16	90
	2.5	19.1	16.55	6.2	6.24	5.40	96
〔2〕	0	18.3	11.34	5.9	9.75	6.20	102
	1	18.5	14.04	5.6	4.75	5.87	101
	2	19.0	16.36	18.8	5.59	5.35	95
〔3〕	0	18.8	11.85	12.1	4.18	5.86	98
	1	18.6	13.04	8.6	5.93	5.61	95
	2	18.8	14.14	3.1	5.75	5.75	99
	2.5	18.9	16.00	1.0	4.69	5.35	94
〔4〕	0	20.2	10.61	11.6	8.57	4.94	85
	1	20.2	14.20	10.6	8.36	5.44	96
	2	19.4	15.48	3.3	7.18	5.43	96
〔5〕	0	20.9	11.71	15.2	6.04	6.09	106
〔6〕	0	20.3	8.54	22.5	8.00	5.42	90
	1	20.4	13.22	2.0	6.22	5.80	102
〔7〕	0	20.3	10.00	3.3	10.81	5.74	97
	1	19.7	14.17	9.5	7.02	6.17	108
	2	19.1	14.55	3.3	6.16	5.84	101
	3	19.0	15.87	5.9	4.79	5.60	99
	3.5	19.1	—	3.1	—	5.51	97
〔8〕	0	19.9	9.46	12.4	10.38	6.07	105
	1	19.5	12.20	5.4	8.6	6.62	113
	2	19.1	14.87	16.2	4.89	5.91	103
〔9〕	0	19.8	10.18	5.9	11.83	6.42	108

Table 3. Oxygen consumption by sediments.

St. No.	Sediment (mg)	Ign. Loss (%)	Oxygen Consumption (cc/g)
1	18.4	27.74	2.46
2	32.4	13.83	2.92
3	16.6	21.13	2.31
4	12.2	9.57	3.91
5	156.2	11.98	4.05
6	20.9	9.81	3.82
7	11.0	12.73	10.73
8	10.8	10.15	3.90
9	9.2	11.98	2.97
10	62.0	13.51	4.23
11	2.0	11.32	0.57
12	6.7	19.20	1.42
13	7.8	11.21	1.54
14	2.2	12.99	0.65

b. 懸濁物の堆積量について.

堆積量は 2.0～156.2 mg の範囲であり，St 1 より10までの湾奥部において大きい値を示すSt. 5 は他の地域に比べて飛躍的に大きいがこれは陸水の影響であるとは断定できない．落潮時に湾全域が陸水によつて稀釈された海水で覆われるが，そのような場合でも表層附近の懸濁物は急速に沈降することなく張潮時に再びおし返えされて湾奥部に堆積することが多いと思はれる．湾口附近は船の航行のため測定が困難なので多くの測定が出来なかつたし，また多くの設置にかかわらず流失，破損などにより回収が少数であつたことなどのために試料数が少なく潮汐が堆積量にどのような影響をもたらすかは明らかにされなかつた.

c. 懸濁物による溶存酸素消費作用.

懸濁物を堆積せしめた試料についての溶存酸素消費作用は第3表にみられる如く採取地点によつて相当な差異がみられる．懸濁物が堆積する過程において如何程の溶存酸素が消費されるかは，堆積後の試料の溶存酸素消費量から判断することは困難であるが，堆積量の大きい地域での溶存酸素の消費量が大きいことなどから考え合はせて懸濁物の堆積過程においてかなりの酸素消費が行はれているものと推察される．底層の堆積物の場合と同様に懸濁物を堆積させた試料中に混在する砂などの量を検討するために灼熱減量を測定したが，9.57～27.74 % で溶存酸素の消費量との間では明らかな傾向を認め難い.

即ち酸素消費量が大きくても灼熱減量が大きいとは限らず，採取した懸濁物中には直接酸素消費にあづからない性質の砂や粘土等の分布が均一でないことをあらわしていると考えられる.

このことはまた，試験管の設置条件の差異による影響のあらわれであるとも思はれるが上述の観点から，懸濁物は既に堆積している底層の堆積物とは本質的に酸素消費にあづかる物質の分布，組成等を異にするものであろう．この点に関しては，試験管を種々な深さに設置してみる必要があるがこれは今後の研究にまたねばならない.

終りに臨み御懇篤な御指導を賜つた京都大学理学部石橋雅義教授に感謝すると共に御協力下さつた当教室の今井嘉彦氏に感謝の意を表する.

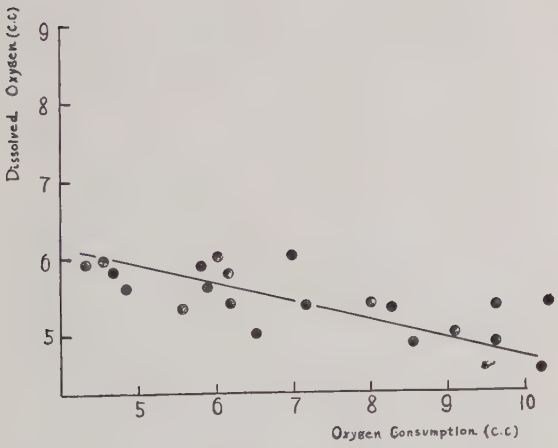


Fig. 2. Relation between dissolved oxygen and oxygen consumption in sea water.

文　献

(1) 広瀬孝六郎 1948:
"上水下水衛生学" 210 頁，南江堂
(2) 倉茂英次郎・太田扶桑男 1942:
"水中溶存酸素の泥土による吸収に関する実験" 日本海洋学会誌 **1**, 1—14.
(3) 山本広志 1959:
"本邦内湾の海洋化学的研究 (6)" 日本海洋学会誌 **15**, 19—22.

The Journal of Oceanographical Society of Japan
Vol. 15, No. 2 June 1959

海水中のトリウムに就て*

東　　慎之介**

Estimation of the Microgram Amount of Thorium in Sea Water

Shinnosuke HIGASHI

Abstract: The thorium content in sea water was estimated to be 0.091～0.026 microgram per liter on analysing the coastal waters of Suma, Hyogo Prefecture and Ataka, Ishikawa Prefecture by a method of colorimetric analysis.

Thorium could not be found in filtered sea water and was caught quantitatively on filter paper. The experiment indicates that thorium exists as suspension in sea water.

1. 緒　　言

海水中に含まれるトリウムに関する測定値は比較的僅少であり，海水1リットル中，2γ以下[1]，0.5γ 以下[2]，0.5γ[3]，0.66γ[4]，0.02γ 程度[5]，0.05γ 以下[6]，等の値が報告されているにすぎない．

筆者は従来より，o-arsonophenyl-azo-chromothropic acid によるトリウムの比色分析法を主体として，岩石[7]，河水[8]，及び植物体[9] 等中に含まれているトリウムの分析を行つて来たが，本報に於ては，海水中に含まれる微量トリウムの分析に対し上記比色法を適用し，満足すべき結果を得たのでここに報告する．

2. 実　　験

a. 器具及び試薬類

比色器械には，アダムーヒルガー社製，石英分光光電光度計を使用した．比色試薬 "o-arsonophenyl-azo-chromothropic acid" は筆者等[10]の合成品を使用した．海水中のトリウムを捕集するために担体として用いた塩化鉄は，イソプロピルエーテルによる溶媒抽出法[11]を用いて精製したものを使用した．其他の試薬類は夫々空試験によつてトリウムが含まれていないことを確かめた後使用した．

b. 分析法

操作 1　水酸化鉄担体によるトリウムの捕集：海水1 *l* 当り約10m*l* の濃塩酸と10mg の Fe^{3+}（塩化鉄）を加える．攪拌しながら，フエノールフタレンを指示薬として，わずかに赤桃色を呈するまでアンモニア水を加える．一昼夜放置後，生じた水酸化鉄の沈澱を濾別する．器壁に附着した水酸化鉄は塩酸に溶解させ，先に得られた水酸化鉄の沈澱と合す．

操作 2　イソプロピルエーテルによる鉄の抽出：操作1によつて得られた水酸化鉄の沈澱を濃塩酸に溶解させ，8規定程度の塩酸々性とする．分液濾斗に移し，イソプロピルエーテルで鉄をエーテル層に抽出[12]する．使用するエーテル量は，Fe^{3+} 10mg に対し 1m*l* の割合が適当である．この際完全に鉄を抽出除去する必要はない．その理由は操作4に於てのべる．大部分の鉄を除去した後，試料溶液をビーカーに移し，ウオーターバス上で加温して，溶解しているエーテルを駆除する．

操作 3　過塩素酸及びフツ酸による有機物の分解とケイ酸の駆除：操作2によつて得られた試

* 1959年2月17日受理

** 京都大学教養部化学教室．Department of Chemistry, School of General Studies, University of Kyoto.

料溶液を，白金蒸発皿又は白金ルツボを用いて加熱濃縮し，これに少量づつ過塩素酸を添加して加熱を続け，ついには過塩素酸の白煙が発生するまでに至らしめる．しかる後放冷し，少量のフッ酸を添加して加熱を続行蒸発乾涸し，更に強熱して過塩素酸の白煙の発生が止むまで熱する．その後，2～3 g のホウ砂を加えて熔融し，放冷後希塩酸に溶解し，透明な溶液を作成する．

この操作によつて，有機物は酸化分解され，ケイ酸はフツ化ケイ素となつて駆除され，ホウ砂熔融によつてトリウムは可溶性の形となる．

操作 4 リン酸根の除去：前操作で得られた溶液は操作2の際抽出され切らずに残つている塩化鉄により，黄色を呈している．これに3規定の苛性ソーダ溶液を加えて水酸化鉄の沈澱を作成させ，遠心分離で取分け，この沈澱に更に3規定の苛性ソーダ溶液を加えて数分間加温攪拌する．

海水中及び海洋微生物体中に含まれて存在し，前諸操作を経て混入して来たリン酸根は，この苛性ソーダ処理により水酸化鉄の沈澱から離脱し，上澄液に移る[13]．

リン酸根の離脱を終えた後，水酸化鉄の沈澱を遠心分離し，よく水洗した後少量の濃硝酸で溶解する．

操作 5 サイクロヘキサノンによるトリウムの溶媒抽出：操作4で得られた試料溶液に 10 g の硝酸アンモニウムを加え，更に蒸溜水を加えて全量を 15 m*l* とする．アンモニア水又は硝酸を加えてこの溶液の pH を 0.65 に調整し，分液濾斗に移す．別に用意した硝酸アンモニウム飽和溶液 (pH を 0.65 にしてあるもの) でビーカーを洗い，洗液をすべて分液濾斗に合す．これに約 20 m*l* のサイクロヘキサノンを加え，30 秒程はげしく振とう後静置すれば，トリウムは上層のサイクロヘキサノン層に抽出されて来る．下層部を別の分液濾斗に移し，これに 0.2 m*l* の濃硝酸を加え再度 20 m*l* のサイクロヘキサノンで抽出を繰返す．トリウムを抱含したサイクロヘキサノンを別の分液濾斗に合して，これに約 10 m*l* の蒸溜水を加えて振とう後静置すれば，下層部 (水層部) にトリウムが逆抽出される．下層部を取出し，更に 5m*l* の蒸溜水でこの逆抽出を完結させる．

操作 6 トリウムの比色定量：操作 5 で得られた試料溶液に 2 m*l* の 1% 塩酸ヒドロキシルアミン水溶液を加え，沸騰状態で約1分間加熱する．この操作で，微量混入して来ている Fe^{3+} は Fe^{2+} に還元され，Fe^{3+} の比色妨害は除去される．冷却後，酸又はアルカリを加えてこの溶液の pH を 1 に調節し，これに 0.1% の o-arsonophenyl azo-chromothropic acid 水溶液の 1 m*l* を加え，所定の容量に調節し (20 m*l* が適当)，分光光電光度計を用い，波長 600 mμ で比色定量する．筆者は 4 cm の吸収槽を使用した．

以上の操作を系統図として次に示す．

(海水中のトリウムの分析法系統図)
Analytical procedures for the determination of thorium in sea water.

Procedure	Purpose
Sea water $\xrightarrow{Fe^{3+},\ NH_4OH}$ $Fe(OH)_3 \xrightarrow{HCl}$	Co-precipitation of thorium.
Extraction with isopropyl ether.	Separation of iron.
Fume with perchloric and hydrofluoric acid. Borax fusion.	Decomposition and removing the organic matters and silicates.
Sodium hydroxide treatment.	Separation of phosphate ion.
Extraction with cyclohexanone.	Extraction of thorium
Colorimetric determination.	Determination of thorium.

3. 分析結果

本法に従つて測定された海水中のトリウム量を第1表に示す．

(第 1 表 海水中のトリウム量)
Table 1. Amounts of thorium in sea water.

Th (γ/l)	Cl (‰)	Vol. of sample water (l)	Sampling place	Date of Sampling
0.026	17.61	80	Coast of Ataka, Ishikawa Pref.	May 24 (1957)
0.042	17.84	60	ibid.	Aug. 6 (1958)
0.091	17.52	60	Coast of Suma, Hyogo Pref.	Aug. 29 (1958)

4. 海水中のトリウムの溶存状態

海水中のトリウムに関する分析法の確立過程中，種々興味深い現象に遭遇した．その中特に興味深く思はれた点は，海水中のトリウムは，濾過することによつて殆どの部分が濾紙上に捕留されると云ふ現象であつた．これについて検討を加えたい．

実験法は次のようであつた．即ち，一定量の海水を採取し，これを東洋濾紙 No. 5C を用いて濾過する．濾過海水に対して本報で述べた分析法を適用してその中に含まれているトリウムを測定し，一方濾紙はこれを灼熱灰化後前報[13]の方法に従つてその中に含まれるトリウムを測定し，両者の値を比較すると共に同様の操作を海水中の鉄及びチタンに就て行い，この二元素が濾過操作によつて示す挙動とトリウムの挙動とを比較対照すると云ふ実験であつた．

第2表にはこれらの元素が示す挙動が示されてある（鉄，チタンは濾紙に捕留された量は測定されていない）．

（第2表　濾過操作が示す海水中のトリウム，鉄，チタンの挙動に関する測定値）

Table 2. Behaviour of thorium, iron, and titanium ion which was observed on the filtration.

	Th (γ/l)		Fe (γ/l)	Ti (γ/l)
Original sea water	0.042	0.042	87	9.6
Filtered sea water	0.000	0.000	3.4	0.5
Filter paper	0.038	0.040	—	—

Fe; Colorimetry. o-phenanthlorine, SANDELL, (1950) p. 375

Ti; Colorimetry. Hydrogen peroxide ibid., p. 572

Sample; Coastal water at Ataka, Ishikawa Pref.

第2表にみられるように，トリウムは濾過海水中には検出されず，海水中のトリウム量に相当する量が濾紙上に捕留されているのが見られる．同様の結果が鉄，チタンに就ても観察される，この現象に就て，海水中に於けるトリウム，鉄，チタンの溶存状態と云ふ点から検討を加えてみたい．

海水中の鉄に関して従来から詳細な研究が行はれている．それによれば，普通海水中には 100～50 γ/l の鉄が含まれているが，G. E. SEIWELL[14]，L.H.N. COOPER[15]，L.H. SIMONS[16] 等の報告によれば，真正の鉄イオンの形で海水中に溶存している量は僅か 4×10^{-7} γ/l 程度にすぎず，大部分は岩石が風化をうけて生じた微細な懸濁粒子中，海洋微生物体及びこれらの死滅した残骸中，更には水酸化鉄の形で海水中に浮遊していて，濾過すれば容易に海水から除去されるものであると報ぜられている．この傾向はチタンに就ても認められ E.D. GOLOBERG[17] によれば鉄，チタンの他，アルミニウム，マンガン，ジルコン等も亦同様の挙動を示し，海水中では鉄同様浮遊状態で存在しているであらうと推定されている．

このように，海水中におけるある元素の存在量と普通云はれている値は，殆どこの浮遊状態で存在する量により規制されると云ふ現象の原因として，これらの元素の水酸化物が難溶性であることが最大の因子とされている[18]．従つて今，トリウムに就て考案すれば，水酸化トリウムの溶解度は水酸化鉄の溶解度に匹敵する程度の難溶性を示すもので，上述の説明が妥当とすれば当然トリウムも亦浮遊物の形で海水中に存在するものと推定される．

斎藤[19]は海水中に於けるトリウムの溶存状態を直接示唆する，興味深い実験を行つた．即ち，トリウムの同位元素である UX_1 をトレーサーに用いて，海水中にこの UX_1 を含む塩化トリウムを投入し，約 10^{-7} g Th/l のものを作成，数日間放置後，毎分 3,000 回転の遠心分離操作を 30 分ほどこした結果，投入量の 74% から 84% に相当する部分が沈降し去ることを，UX_1 の示す放射能を測定することにより見出した．しかして，もし投入されたトリウムが総て純粋なイオンの形で海水中に溶存していたものとすれば，このように遠心分離操作によつて沈降する結果は生じないであらうとの理由から，投入した塩化トリウムは海水中で加水分解し水酸化トリウムとなり，遠心分離されたとの結論を下した．

以上の諸報告と筆者の実験結果から，海水中ではトリウムは濾過すれば海水中から　　される形

態，所謂浮遊状態で存在しているものと判定される．

ここで，トリウムの溶存状態に附属して，海水中のトリウムに関する分析法の便法を提案したい．即ち，筆者の実験範囲では，海水中のトリウムは濾過することにより総て濾紙上に捕留されることから，本報で述べた操作1の水酸化鉄によるトリウムの捕集操作と，続いての操作2，鉄の抽出除去操作を省略して，濾過操作により海水中の鉄を濾紙上に集め，これを灰化後本報操作3以下の方法を経てトリウムを定量することの可否である．この問題に関して将来更に多くの試料を取扱つた後再検討を加えたい．

6. 結 論

比色法により海水中のトリウム量を測定した結果，0.091～0.026 γ Th/*l* の値を得た．更に海水中に於ては，トリウムは殆んどの部分が微細な岩石破砕粒子中，海洋微生物体及びその残骸中，及び水酸化物の形で浮遊しているものとの推定がなされた．この結論から，海水中のトリウム量は採水場所による含有量の変動や，季節による含有量の変動は当然起り得るものと予想される．この問題に関しては而後の測定結果をまつて改めて報告したい．

本研究を行ふにあたり，終始御指導御鞭撻下さつた恩師石橋雅義教授に深甚の謝意を表わします．

(昭和32年10月 分析化学年会於京都講演)

文 献

1) WATTENBERG, H., 1938:
"Zur Chemie des Meerwassers; Über die in Spuren vorkommenden Elemente." Z. anarg. allgem. Chem., **236**, 339.

2) FÖYN, E., B. KARIK, H. PETTERSON, and E. RONA 1939:
"The radioactivity of seawater." Medd. Oceanog. Inst. Göteborg, **6**, 12.

3) KOCZY, F.F. 1949:
"Thorium in seawater and marine sediments." Geol. Fören. i Stockholm Föhr., **71**, 238.

4) 石橋雅義，東慎之介，1949:
"海水中のトリウムに就て" 化学と工業（日化）**2**, 14.

5) KOCZY, F.F., E. PICCIOTTO, G. POULART, et S. WILGAIN, 1957:
"Mesure des isotopes du thorium dans l'eau du mer." Geochim. et Cosmochim. Acta, **11**, 103.

6) SACKERT, W.M. and H.A. POTRATZ, 1958:
"Thorium content of ocean water." Science, **128**, 204.

7) 石橋雅義，東慎之介 1956:
"トウムの微量分析法第3報" 分析化学, **5**, 135.

8) ISHIBASHI, M. and S. HIGASHI 1957:
"Estimation of microgram amounts of thorum in the Lake Biwa Water." Bull. Inst. Chem. Res. Kyoto Univ., **35**, 1.

9) 東慎之介，1958:
"植物，貝殻，さんご類に含まれるトリウムに就て" 分析化学，**7**, 441.

10) 石橋雅義，東慎之介，1955:
"トリウムの微量分析法続報" 分析化学，**4**, 14.

11) MORRISON, G.H. and H. FRISEN:
"Solvent extraction in analytical chemistry." JOHN WILLY & SONS New York, (1957).

12) 同 上

13) 9) に同じ

14) SEIWELL, G.E., 1935:
"Note on iron analysis of Atlantic constral waters." Ecology, **16**, 663.

15) COOPER, L.H.N., 1948:
"Some chemical considerations on the distribution of iron in the sea." J. Mar. Biol. Ass., U.K. **27**, 279.

16) SIMONS, L.H., P.H. MONAGHAN and M.S. TAGGART, 1953:
"Aluminium and iron in Atlantic and Gulf of Mexico surface waters——Determination and occurrence." Anal. Chem. **25**, 989—90.

17) GOLDBERG, E.D., 1954:
"Marine geochemistry. 1. Chemical scavengers of the sea." Journ. Geol., **62**, 249—65.

18) 石橋雅義，東慎之介，1958:
"海水中に溶存する元素量の規則性に就て." 日塩誌，**12**, 322.

19) SAITO, N., 1951:
"On the existence of radiocolloids in natural waters." Intern. Assoc. Hydrology Brussel Ass., Aug.

The Journal of the Oceanographical Society of Japan
Vol. 15, No. 2 June 1958

トリウムが岩石圏から水圏に移行する過程について—海水中のトリウムの起原と関連して

東　　慎之介**

On the Thorium Transfer from Lithosphere to Hydrosphere. In Connection with the Occurrence of Thorium in Sea Water

Shinnosuke HIGASHI

Abstract: A study was carried out to explain the transfer process of thorium from lithosphere to hydrosphere.

Thorium is contained in granites in two forms: the former is contained in mineral resistates and is hardly transportable into solution, and the latter is contained in so-called leachable material and is easily transportable into solution. The experiments indicated that leachable thorium could be leached from granite by dilute hydrochloric acid and carbonated water.

The discussion was made on the problem how thorium was brought into river water and sea water during the weathering.

1. 緒　言

筆者は既に岩石，河水，海水，温泉水，動物及び植物体中に微量含まれるトリウムに対して，各々適切な分析法の研究を行つて来たのであるが，その間特に興味を持つたのは，如何なる過程を経て岩石中のトリウムが河水，海水，温泉水乃至は動植物体中に含まれるに至るかの点であつた．その理由は次のようである．

トリウムは主として花崗岩の副成分鉱物であるトリアン石，トール石，トロゴム石，モナズ石，ジルコン，チタン石，燐灰石，褐簾石中に含まれて存在しているのであるが[1]，周知の如くこれらの鉱物は風化に対して強い抵抗性を示し[2]，従つて花崗岩自体が風化崩潰し，雨水等により流出される際にも，これらの含トリウム鉱物は分解されず，河口や海岸に集積して所謂漂砂鉱床を形成する特性を持つている．

従つて，このように風化に対して強い抵抗性を持つ鉱物からトリウムが溶出し，河水や海水に含まれるに至ると考えること自体，大きな矛盾があると云はなければならない．

然るに近年，花崗岩中に，そして花崗岩に限られるのであるが，風化過程に於て容易に溶出する形のトリウムが存在することが判明した．即ち，G.R. TILTON[3] は前カンブリア紀の花崗岩中に含まれる鉛，ウラン，トリウムの分布に関する研究に於て，ウラン，トリウム，及び非放射性起源の鉛の相当量が花崗岩中に不安定な結合状態で存在することを発見し，このように不安定な状態で存在するウラン，トリウム，鉛は，6 規定の塩酸で処理することにより容易に花崗岩から溶出することを認め，その溶出量は花崗岩中に含まれる該元素全量の，ウランは 34%，トリウムは 43%，鉛は 40% 程度であると報告した．

続いてH. BROWN[4] は花崗岩粉末を塩酸水中に投入し，溶出する諸元素量を測定した結果，試料によつてかなり溶出量に差があるにもかかわら

* 1959 年 2 月 17 日受理

** 京都大学教養部化学教室 Denpartment of Chemistry, School of General Studies, University of Kyoto.

ず，溶出した各元素間の比は大体一定で，CaO；15～45％，Fe_2O_3；11～46％，Al_2O_3；20～30％の値を示し，希土類元素及び放射性元素は，その全含有量の40%以上に相当する量が溶出されると報じた．更に BROWN は各種花崗岩試料について測定を行い，花崗岩中には塩酸処理により容易に溶出する物質が存在することを認め，これに“leachable material”（可浸出性物質）と名付けた．

続いて E.E. PICCIOTTO[5] は巧妙なラジオオートグラフ法によつて，花崗岩中に存在する放射性元素の一部は花崗岩副成分鉱物中に存在し，他は石英，長石，雲母等の結晶間隙に存在することを観察し，BROWN の名付けた leachable material 中に含まれる放射性元素は，この結晶間隙に存在するものであらうと推定した．

筆者はこの leachable material 中に含まれるトリウムに着目し，このトリウムが風化過程に於て花崗岩から溶出するものであらうと考え，自然界に於て岩石を溶解する主因となつている雨水に最も近い炭酸水で花崗岩を処理し，期待量のトリウムが溶出されることを認め，続いて各種風化段階の異る花崗岩についてその中に含まれているトリウム量を分析し，風化過程に於てトリウムが花崗岩から逸散していることを検し，これらの結果と，既に測定した河水，海水中のトリウム量とを比較検討して，花崗岩中のトリウムの溶出挙動の解明を試みた．以下これについて報告したい．

2. 実 験

a) 塩酸処理によつて溶出する花崗岩中のトリウム

花崗岩試料を 100 メッシ以下に粉砕し，約 3 g を秤取し 30 m*l* の 6 規定塩酸中に投入，室温で攪拌する．所定時間後これに 70 m*l* の蒸溜水を加えて希釈し濾過する．この濾液にアンモニア水を加えて微アルカリ性となし，生じた水酸化物の沈澱を濾別洗滌する．試料岩石から溶出したトリウムは，この水酸化物の沈澱中に含有される．これに塩酸を加えて溶解し，ウオーターバス上で加温濃縮し，この中に含まれる可溶性ケイ酸を不溶性にする．不溶性ケイ酸を濾別し，得られた試料溶液にアンモニア水を加えて水酸化物の沈澱を作成させ，水洗濾別する．これに少量の硝酸を加えて水酸化物を溶解させ，続いて約 10g の硝酸アンモニウム（固体）を加え全量が 10～20 m*l* になるように蒸溜水を加える．これを pH 0.65 に調節し，分液濾斗でこれとほぼ同量のサイクロヘキサノンを用いて二回抽出を繰返す．トリウムを抱含したサイクロヘキサノンを合してこれに約 10 m*l* の蒸溜水を加え，トリウムを水層へ逆抽出し，この操作を更に約 5 m*l* の新蒸溜水で完結させる．

しかる後有機試薬 o-arsonophenyl-azo-chromothropic acid[6] による比色分析法でトリウムの定量を行ふ．

花崗岩中に含まれる全トリウム量の測定は，筆者の先に報告したトリウムの微量分析法第 3 報[7] の方法に従つた．

上述の処理法により，6 規定塩酸によつて花崗岩から溶出されたトリウム量と，塩酸処理時間との関係を第 1 図に示す．使用した花崗岩試料は，京都市左京区瓜生山産のトリウム含有量 20.6 γ/g 及び大文字山産のトリウム含有量 20.1 γ/g の二種であつた．

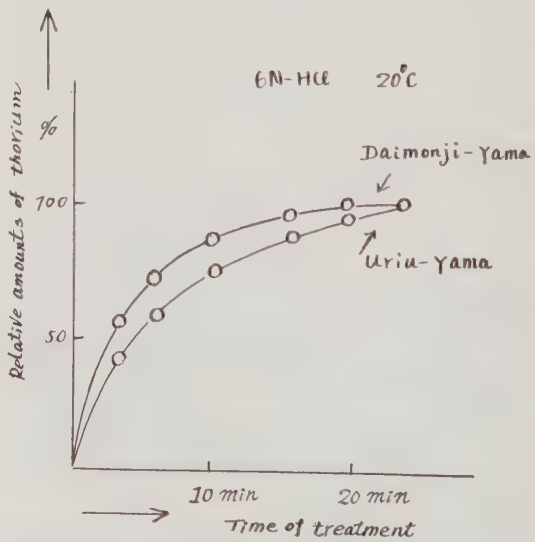


Fig. 1. The relation between the amounts of extraction of thorium from granite and the time of leaching.

第1図にみられるように，6 規定塩酸処理により，トリウムは比較的短時間で試料岩石から溶出され，25分を経た後の溶出量はほとんど一定値を示す．又この処理を12時間行つた後の溶出トリウム量は，瓜生山試料，7.8γ/g，大文字山試料，8.3γ/g であつた．この値をもつて 6 規定塩酸により溶出し得るトリウムの全量と規定し第1図を作成した．6規定塩酸で溶出したトリウム量と，該試料花崗岩中の全トリウム量との比は夫々 37.8%（瓜生山），41.0%（大文字山）であり，前述 TILTON 等の結果とほぼ一致している．

次に試料花崗岩の粉砕程度と，6 規定塩酸処理により溶出するトリウム量との関係を調べてみた．

試料花崗岩を粉砕し，タイラー標準篩の 100 メッシ，60 メッシ，35 メッシ，20 メッシを用いて，100 メッシを通過部，60 メッシを通過し 100 メッシを通過しない部分（以下 100～60 と略記する），60～35，35～20 各部分に篩い分け，各々を 6 規定塩酸の 12 時間処理を行つて溶出したトリウム量を測定し，この値とタイラーのメッシ目と比較したのが第2図である．

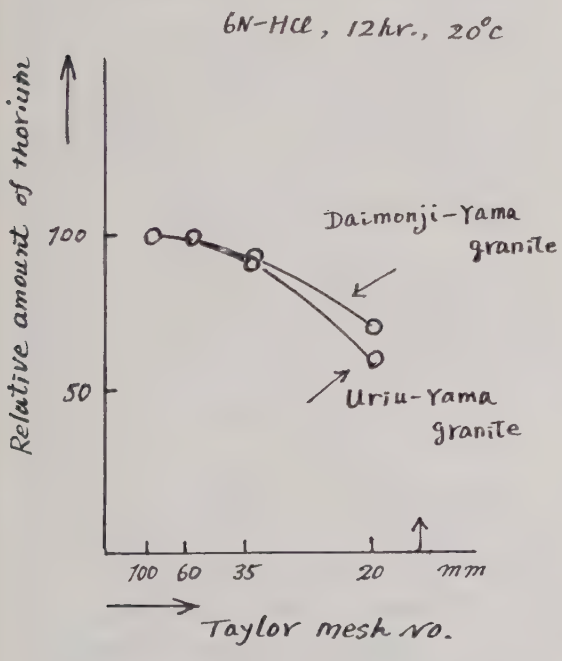


Fig. 2. The relation between the amounts of extraction of thorium from granite and degree of powdering.

第2図の縦軸は 100 メッシを通過した試料から溶出したトリウム量を 100% として，これに対して各粉砕度の異る試料から溶出したトリウム量の相対値をとり，横軸は篩の目の大きさを mm で比較してある．

第2図でみられるように，60メッシ以上の粉砕度の試料から溶出されたトリウム量は殆んど変らない．このことから推定して，比較的荒い粉砕度でも充分トリウムは溶出されることが判明した．

b)　希塩酸及び炭酸水処理により花崗岩から溶出するトリウム

6 規定塩酸処理で溶出する花崗岩中のトリウムは，希塩酸及び炭酸水でも溶出するものか否かを検した．処理法は次のようである．

瓜生山花崗岩を 100 メッシ以下に粉砕し，所定の pH に調節した希塩酸 100 m*l* に対し岩石粉末 10 g の割合で投入，ポリエチレン製瓶中に保存し，時々振とうし，所定時間後取出して濾過し，この濾液中に含まれるトリウム量を前記方法で測定した．処理液の酸性が弱い場合は溶出されるトリウム量も少くなるので，この様な場合は試料岩石粉末を 200～300 g 取り，これを 2～3 *l* の処理液を用いて，水酸化アルミニウム共沈法でトリウムを捕集し測定した．又溶出処理中，溶出液の pH 値に変動の認められる場合，例えば pH＝3 の希塩酸で溶出を開始すると，24 時間後に処理液の pH 値は 3.8 となり，又，pH＝4 で処理を開始すると，2 時間後に pH 値はに 5.5 変ることが認められたが，この様な場合は pH メーターで測定しつつ適時酸の補充を行つて初期の pH 値を保ち，適時酸の補充を行つて初期の pH 値を保ち，溶出を続行した．

希塩酸及び炭酸水処理により溶出したトリウム量と，溶出時間との関係を第1表に示す．

第1表の結果を更に明瞭にする目的で，第3図に於て処理液の酸性度と溶出されたトリウム量との関係を，又第4図に於て酸性度と溶出速度との関係を図示した．

第3図にみられるように，溶出されたトリウム量の対数と，溶出液の pH 値の間に近似的な直線

Table 1. The amounts of extraction of thorium (γ) from granite (g) with dilute hydrochloric acid and carbonated water. (pH=5.5) Uriu-Yama granite. Temp. 18-23°C.

pH of solution \ Time of extraction (Day)	1	3	10	30	100
1	3.8	5.0	4.4	7.1	7.0
2	1.3	1.7	2.1	3.0	3.6
3	0.40	0.52	0.68	0.90	1.15
4	0.12	0.16	0.21	0.27	0.34
5.5	1.6※	2.4※	3.0※	3.8※	4.6

※=(×10⁻²)

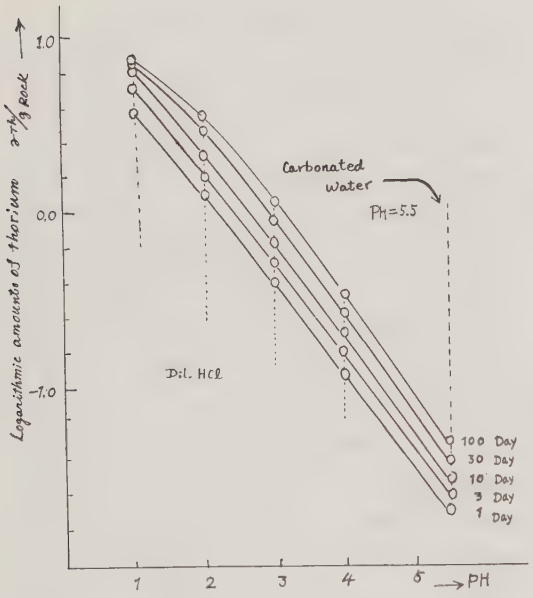


Fig. 3. The amounts of extraction of thorium from granite with dilute hydrochloric acid and carbonated water. (Temp. 18-23°C)

関係が成立つている．即ち，一定時間溶出処理を行つた結果花崗岩から溶出されるトリウム量は，その時使用した溶出液の水素イオン濃度と密接な関係にあると云ふことは，誠に注目すべき現象と云えよう．

第4図は花崗岩粉末から溶出されたトリウム量と，溶出時間（日）の対数との関係を図示したものである．これにみられるように，溶出液の水素イオン濃度が大きくなるに従つて，速にトリウムが溶出されて来ている．又，溶出されたトリウム

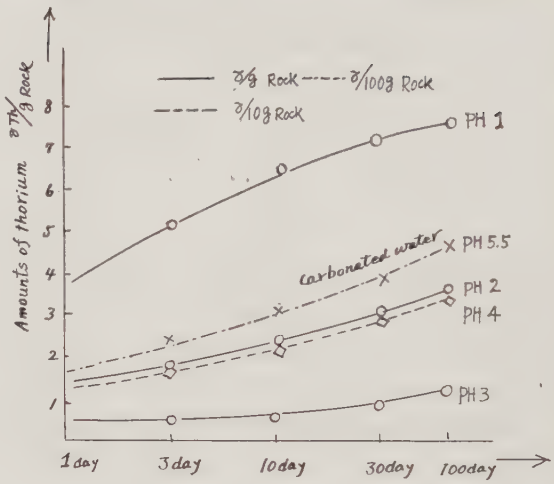


Fig. 4. The rate of extraction of thorium from granites.

量と溶出処理時間の対数との間に，近似的な直線関係が認められる．このような反応速度形式は，G. TAMMAN[8] 等によつて与えられた，新鮮な金属亜鉛表面が腐蝕をうける際の反応速度形式を予想させるものがある．

炭酸水処理による溶出結果は興味深いものがある．即ち，岩石のうける風化過程に於て，雨水の占る役割は複雑且重要なものであることは論をまたないのであるが，特に本実験の主目的である，雨水による花崗岩中のトリウムの溶出問題を解明する上に於て，ここに行つた炭酸水処理による花崗岩中のトリウムの溶出挙動は重視すべきものと考えられる．何故ならば，雨水は通常その中に 0.4 0.5 cc/l 程度の炭酸ガスを溶解していて，その結果雨水は通常炭酸水の示す pH 値 5.5 附近の値を示している（三宅[9] の観測によれば，時として硫酸根を含む pH 4 附近の降雨が存在する例があるが，ここでは例外とする）．

さて，炭酸水によつて溶出したトリウム量は，第1表に示されるように，24時間処理で花崗岩粉末 1g あたり 0.016γ の値を示している．従つて雨水が炭酸水として新鮮な花崗岩面に作用するとすれば，花崗岩中に不安定な結合状態で存在しているトリウムは充分溶出され得ると推定出来る．

c)　花崗岩中のトリウムの雨水による機械的流出に就て

前章で，新鮮な花崗岩の炭酸水処理による実験結果から，花崗岩中に化学的に不安定な結合状態で存在するトリウムは，雨水によつて溶出され得ると推定した．しかし自然界では新鮮な花崗岩が露頭している所は極めてまれであり，一般に表層は風化をうけ変質していて，雨水はこの表層を洗つているのが現状である．従つて，この風化をうけ変質した花崗岩からも，雨水によつてトリウムが溶出してくるものかどうかを検討しなければならない．これに対して次のような実験を行つた．

京都市左京区瓜生山に花崗岩の石切場があり，ここで新鮮な花崗岩から風化をうけ変質した花崗岩に至る，種々風化様相の異る試料が採取出来る．

さて花崗岩の造岩鉱物中最も風化をうけにくいのは石英で，長石がこれに次ぎ，雲母が最も風化をうけ易いとされている．須藤[10]の報告によれば，黒雲母を炭酸水中で一ケ年間浸漬しておいた結果，次第に白色の粘土鉱物に変質した例がこれを証明している．事実，瓜生山で採取される試料にもこのような現象がみられ，黒雲母に相当する部分が黒褐色の酸化鉄様の物質で覆はれている試料や，黒雲母が変質して白色鱗片状の剝離し易い形態を呈している試料，更には雲母，長石共に風化変質して石英だけが残留しているもの等，種々の風化様相を示す試料が得られる．

この各種風化様相の異る試料について，その中に含まれている全トリウム量，6 規定塩酸処理で溶出するトリウム量，pH=1 の希塩酸 24 時間処理で溶出するトリウム量，及び炭酸水一週間処理で溶出するトリウム量を夫々測定した．その結果を第 2 表に示す．

第 2 表中，風化試料 A とは黒雲母部が黒褐色酸化鉄様に変質せるもの，試料は B 黒雲母部が白色鱗片状に変質し長石の変質も認められるもの，試料 C は表層近くに存在して，石英を残して他は粘土鉱物様に変質しているものである．

第 2 表にみられるように，各試料中の全トリウム量及び 6 規定塩酸可溶のトリウム量は，風化の進んだ試料ほどその値が少くなつている．この結果は W.L. Smith[11] 等の β 線放射能測定法によつて，新鮮な花崗岩と風化した花崗岩中の放射性元素含有量の差を統計的に比較して，放射性元素は風化した花崗岩中には少く，且つ風化過程に於て放射性元素は母岩から失はれて行く傾向にあるとの報告と一致している．

Table 2.　The difference of thorium contents on fresh and weathered granites.

γ Th/g Rock	Fresh	Weathered A	Weathered B	Weathered C
Total	20.6	18.7	14.3	8.6
6N HCl Ext.	7.8	6.4	3.1	1.2
$\frac{\text{6N HCl}}{\text{Total}}$ (%)	(36.9)	(34.2)	(23.1)	(13.8)
pH=1 HCl Ext.	3.8	1.2	0.58	0.06
$\frac{\text{pH=1 HCl}}{\text{Total}}$ (%)	(16.9)	(6.42)	(4.33)	(0.81)
Carbonated water Ext.	0.026	0.000	0.000	0.000
$\frac{\text{Carbonated water}}{\text{Total}}$ (%)	(0.12)	—	—	—

希塩酸及び炭酸水処理によつて得られた結果は興味深いものがある．即ち，該処理によつて溶出されたトリウム量の，全トリウム含有量に対する割合は，風化変質の著しい試料ほど小くなつているのが認められる．このことは，風化した花崗岩中には新鮮花崗岩よりも可溶性のトリウムが少く含まれていると云ふこと以外に，可溶性のトリウムは風化が進むに従つて次第に希酸乃至炭酸水に溶けにくい形に変化して行くのではないかと考えざるを得ない現象である．この現象は，風化をうけた花崗岩と新鮮な花崗岩とがトリウムの溶出に関して示す著しい相違点であり，従つて雨水が風化した花崗岩層を流れる際には，溶出して来るトリウム量は極めて僅かなものと考えられる．然るに一方，河水中のトリウム含有量として得られている 0.05 γ/l[12] なる値は，第2表と比較してかなり高い値である．従つて，トリウムが河へ運ばれるもう一つの経路，即ち前者を化学的溶出経路と仮称すればこれは機械的な流出経路なるものが考えられる．

本実験に使用した風化花崗岩にみられる黒雲母の変質した，黒褐色酸化鉄様物質は，極めて脆弱で，流水により容易に母岩から流し出され得る状態を呈している．この黒雲母変質物を取出し，その中に含まれている6規定塩酸可溶のトリウム量を測定して，平均 29.6 γ/g の値を得た．この値は母岩中の6規定塩酸可溶のトリウム量 6.4 γ/g の値の約4倍強の値である(トリウム及び他の放射性元素は黒雲母に濃縮されて存在する傾向を持つ.[13]) 従つて，比較的多量のトリウムを含む黒雲母が最も風化変質し易く，且つ変質した結果脆弱となり，雨水によつて容易に母岩から流し出され得る状態にあることは，花崗岩からトリウムが失はれる原因の一つと考えられる．更に注目したい事は，花崗岩は玄武岩等とくらべて，風化をうけると脆くなり容易に崩潰する性質を持つことである．従つて更に容易に前述の黒雲母の風化変成物が雨水等により流出し易くなり，又結晶間隙に存在する leachable material も結晶崩潰に伴い風雨にさらされ易い場所に現れ，母岩から流出して河へ運ばれると考えられることである．

島[14]はこのような現象に関して興味深い報告を行つている．即ち，花崗岩地帯から流出して来た土壌が地形の関係である場所に留積することがあるが，この留積物中の放射性元素は母岩の花崗岩中の放射性元素の量より多いと云ふことである．この報告は，本章で下した推定の妥当性を証明するものと考えられる．

次に温泉水中のトリウムに関して附記したい．本邦に多数の温泉が湧出しているが，その中含トリウム温泉と云はれるものは共に花崗岩を基盤とする地帯から湧出し，泉質は含食塩炭酸泉乃至酸性明ばん緑ばん泉に属するのを特徴としている．この間の事情と，本報で行つた実験結果と併せ考察するに，花崗岩が河水中にトリウムを放出する主な資源となつていることは確実と考えられる．

3. 結 論

岩石中のトリウムが如何なる経路を経て河水に移り海洋に運ばれるに至るかを解明する目的で，花崗岩中に含まれる所謂可溶性形のトリウムに対し，希酸及び炭酸水処理を行つて期待量のトリウムが溶出することを認めた．続いて風化変質した花崗岩については同様溶出実験を行つた結果，溶出されるトリウムは新鮮な花崗岩より著るしく少量なることを認め，自然界に於て，花崗岩中のトリウムが河や海へ搬出される他の経路として，花崗岩造岩鉱物中，比較的多量のトリウムを含み，且つ風化をうけることにより脆弱となる黒雲母が，花崗岩の風化過程に於て崩潰し，雨水等により河へ流し出される可能性を検討した．

終に臨み，終始御指導御鞭韃いただいた恩師石橋雅義教授に深く感謝致します．

(昭和32年10月 分析化学年会講演 於京都)

文 献

1) RANKAMA, K., 1946: "On the geochemical differenciation in the earths crust." Bull. Comn. Géol. Finlande, **173**, 1—21.
2) VERNADSKY, W., 1924: "La Géochimie" P. 363 Alcan Paris.
3) TILTON, G.R., C.C. PATTERSON, H. BROWN, R. INGHRAM, D.H. HAYDON, and E.S. LARSENJR., 1954: "The isotopic composition and distribution of lead, uranium and thorium in a Pre-Cambrian granite." United State Atomic Energy Comn. AECU-2840 June **25**, 1400.
4) BROWN, H., W.J. BLAKE, A.A CHODOS, R. KOWALKOWSKI, C.R. MCKIMMY, G.J. NEUERBERG, L.T. SILVER, and A. UCHIYAMA, 1953: "Leaching studies of interstitial material in igneous rocks," Bull. Geol. Soc. Amer., **64**, 1400.
5) PICCITTO, E.E., 1950: "Distribution de la radioactivite dans les roches eruptives." Bull de le Soc. belege de Geol. de Palentol. et d'Hydrol, **59**, 170—199.
6) 石橋雅義，東慎之介，1955: "トリウムの微量分析法続報分析化学，**4**, 14.
7) 石橋雅義，東慎之介，1956: "トリウムの微量分析法第3報分析化学，**5**, 135,
8) TAMMAN, G. and W. KOSTER, 1922: "Die Bedeckungstheorie des Passivität der Metalle und ihre experimeutalle Begründung." Z. anorg. allgem. chem. **123**, 196 (1922).
9) 二宅泰雄，1934: "雨水の化学" 気象集誌 **17**, 31.

10) 須藤俊雄, 1950：
"粘土鉱物" 岩波全書 p. 155.
11) SMITH, W.L. and F.J. FLANAGAN, 1956：
" Use of the statistical methods to detect radioactive change due to weathering of a granite." Am. J. Sci., **254**, 316.
12) ISHIBASHI, M, and S. HIGASHI, 1957:
" Estimation of microgram amount of thorium in the Lake Biwa water." Bull. Inst. Chem. Res. Kyoto to Univ., **35**, 7.
13) LARSEN, E.S. and PHAIR, G. 1955：
" Nuclear geology" JOHN WILLY & SONS New York.
14) 島　誠, 1955：
"地球化学探鉱法" p. 217. 丸善書店

寄　稿

地震のない津浪*

三　好　　寿**

本年2月数回に亘つて，奄美大島の名瀬，鹿児島県の枕崎，和歌山県の白浜町が，地震がないのに異常高潮に襲われた．性質は地震津浪に酷似している．この津浪をめぐつて，「今まで地震があつても津浪がないことはあつたが，地震がないのに津浪が来たという前例はない」．と取沙汰されている．

それは誤りであつて，前例はあるのである．Bull. Seism. Soc. Amer. Vol. 37 (1947) No. 4 の p. 269～286 に N.H. Heck という人が，西暦紀元前 479 年から1946年12月に到る，全世界の 271 箇の津浪のリストを作製している．その中で1812年6月23日のところを見ると．France, Marseilles. Sea retired and returned with great violence. This occurred several times. No known earthquake, but description indicates waves of seismic origin. とある．港湾は長週期波に弱いから，great violence をそのまま great height ととる必要はない．

1812年といえば，ナポレオンに率いられた 60 万の大混成軍が，あらかた殺されながらモスコーから敗退した年であつて，地中海沿岸の諸国が疲へいのどん底にあつた年であるが，マルセーユのような大都市を除いて中小都市が記録能力を失なつたとは考えられないし，更にこれは大洋沿岸の現象でなく地中海内の現象であつて見れば，本当にマルセーユでだけ生じた局地的な現象，即ちマルセーユの近傍に浪源をもつた津浪だつたと考えられる．

さて地震のない津浪の原因として先ず次のことが考えられる．

(1)　浅海底における大規模な地辷り．普通津浪の原因は海底の隆起，沈降が大規模に生じ，それに生きうつしに海面に凸凹が生じて四方にひろがるのであり，海底物質が大量に地辷りしても，それによつて誘発される海底流と逆の方向の流れが上層に生じてその流れを埋め合わせ，津浪が生じることは考えにくいとされていた．けれ共浅海底で大規模な地辷りが急激に起れば，その可能性が考えられなくもない．それが1つ．

これを確かめるには，簡単なモデル計算を完全流体の場合について行なつて見ればよい．海底は平坦としてよい．次にまさつを入れるのである．速度に比例した抵抗を入れてもよい．誘発された流れのエネルギーのごく一部分が重力波のエネルギーになるという，複合現象に対してこういう水の抵抗はどのような作用をするか？流れのエネルギーをけずつて重力波のエネルギーを増加させるという風に働くか，又は流れのエネルギーと重力波のエネルギーと両方をけずるという風に働くかが，1 つの焦点となる．前者であれば地辷り説は有望である．後者であれば，この津浪の原因として次のようなことも考えられなくもない．

(2)　地震学の方で，地震の効率ということがいわれている．即ち地殻の中で作用したエネルギーの 1%程度が地震波のエネルギーになるという説である．この効率が例えば0.01%になるような地震が生じたとするとどうなるか？「地震がないのに」地殻変動が生じたということになろう．これが考えられる原因の第 2.

はつきりしたことをいうには，以上述べたような理論的なモデル計算が早急に望まれる．地震のない津浪が前代未聞だといわれているので，とりあえずこの短文を寄せておくが，実は Heck の記事と，浅海における地辷り津浪の可能性については，3 年前に筆者が“自然”(7月号) に紹介しておいたことである．

* 1959 年4月海洋学会にて講演．同6月3日受理
** 東京水産大学物理学教室

カナダ通信 (第 2 信)

ソ連海洋調査船 Vitiaz 号の太平洋観測と装備*

宇　田　道　隆**

1958年11月15日，ソ連海洋研究船 Vitiaz 号がヴアンクーヴァー(カナダ)に入港，18日カナダ国海洋科学者と共に見学，ソ連科学者の講演発表を船内できき接待を受け，20日に同船のナナイモ生物研究所訪問を受け，再び知識交換の晩餐を一同共にして会談交歓の機会を持つた．スパシーボ (ありがとう)，ダスヴィダニヤ (さよなら) の声と共に去り行くボートの上には大合唱が暗い波上に余韻をのこしてひびきわたつた．「船乗りの歌」，「ヴ

* 1959 年5月19日受理
** 東京水産大学

ィチアズ号海洋学者の歌」,「黒いひとみ」といつた歌だとあとできいた．他のカナダ海洋学者の報告と，新聞その他の報道をも参照し，日本の深海研究に重要な参考になることが多いと思われる点を紹介する．カナダの土地の新聞にも，彼等は「すこぶる友好的で協力的だつた」と出ていた．

本船は5,500トン，デイゼル3,000馬力，前身は1939年ドイツで建造の貨物船M.V. Marsを改造改名(Vitiaz 1世は1866～88，有名なマカロフ提督指揮の極東海域大観測をやつた船で，Vitiazの名は力と勇気に富むロシヤの伝説的英雄の名に由来する由)，ソ連学士院海洋研究所(USSR, Institute of Oceanography of the Academy of Science) に所属する．この研究所はソ連学士院会員P.P. SHIRSHOV の先見と努力により1941年に生れたLaboratory of Oceanology が発展して1946年現在の姿に改組され，SHIRSHOV は本研究船獲得に特に尽力し，初代所長として1953年2月死ぬるまで活動した．現所長は V.G. KORT，本研究所は MOSCOW の8，Ludjnikovskaya Street にあり，全所員400人，うち海洋学者現在約60人，他の研究所 (Moscow, The Marine Hydrographical Inst.: Leningrad, The Zoological Inst. その他) との連絡協力はうまくいつており，支所は黒海・カスピ海・極東にあつて現場の研究所として常任所員がいる．所属三大船中の一つのVitiazはウラジオに基地を置いて活動 (ウラジオ支所は近く大拡張の模様)，研究科学者は大方モスコーから汽車か飛行機で参加する．このほか北西太平洋は Institute of Fisheries and Oceanography がやつており，海軍研究所もやつておる．Vitiaz は主に太平洋で，Obi は南氷洋で，Mihil Lomanov (1957年東独で建造，排水量6,000トン，長さ104.2m，巾14.4m，巡航速力13ノット，35日・11,000浬可航，船上16実験室，アンカー・ウインチに15.000m ケーブル．トロール・ウインチ7,000m ケーブル，8個の "Okean" ウインチ，3個の音響測深機——5,000m用2，1万m用1，モーター・ボート2隻——9ノット5日可航——を備える．主にソ連学士院海洋水物理研究所でつかうが，科学者は毎回各研究所から集つてやる) は北大西洋で活動，更に1959年早々より新船が参加Vitiaz と2隻でインド洋のIGY 観測をやり，1960年Vitiaz 号は北太平洋調査をくりかえす模様．今航海は1958年10月ウラジオ出航，日本海から津軽海峡をぬけて北太平洋のIGY 観測をアリューシャン～37°N線2本，3子午線観測，ヴァンクーヴァーまで4,200浬86点実施，第29次航であるがIGY の第4航，ヴァンクーヴァーを出て南の方に下りサンフランシスコ・ハワイにもより，東京へも入港，3月にウラジオにかえるとのこと．

本船は一大浮上海洋研究所で主任科学者 (W.N. SYSOEV) の指令のもとに船内12研究室の仕事が進められ，各室には2～6人の所員が働く．総員132名，船長 S. SERGEEV，科学者は65名，婦人は25名 (10名が科学者，内博士1名，あと15名雑用) 副．主任科学者 A. PAVLOV, A. SOLOVYEV; 海洋学者 (K.A. CHEKOTILLO, P.P. GANSON, M.V. KOZLANINOV——海洋光学; N. M. KOZLOV, V.N. NOVOZHILOV, B.A. POPOV——波; B.V. SHEKHVATOV——海洋測器・エレクトロニクス, V.A. SHERRY——測流); 地質学者 (E.I. KUDIVOV, N.L. ZENKEVICH); 化学者 (D.A. SEMETANIN, V. KONNOV); 気象学者 (V. GUPRANOV, M. KUTYAMINA, J. VOLKOV); 生物学者 (K.V. BEKLEEMISHEV——プランクトン, *Z.A. FILATOVA 博士——ベントス, *O.I. KOBLENTZ-MISHKE——基本生産力, R.J. LEVENSTEIN——海底生物, *E.A. LUBNIGERTSIK——プランクトン, *V.A. MUKHACHEVA, N.V. PARIN——魚類, S.V. SUEVOV) その他数名の女性助手・通訳 (* は女性)．

本船の特長は深海観測用諸設備である．

ウインチ——錨定・深海トロール・海底採泥用に2大ウインチ施設さる(外に小型8個)．アンカー・ウインチは前甲板，1万m深錨定経験(SYSOEV, N.N. 1957: The development of techniques and methods of observing ocean currents at anchor stations. *Trudi Inst. Okeanol*, **25**, 6～24)．深海トロール・ウインチは後甲板上，深海底サンプル採集にも使う．小型のは "Okean" ウインチ，抵抗温度計・GEK 電極・波浪記録計等のために使う (SYSOEV, N.N. 1951a: Questions of construction and application of coring tubes. *Trudi Inst. Okeanol.*, **5**, 3～100; 1951b: Oceanological winch "Okean". *Trudi Inst. Okeanol.*, **5**, 136～143; 1951c: Deep water trawl winch of the expeditionary ship "Vitiaz". *Trudi Inst. Okeanol.*, **5**, 144～151)．

観測用ウインチ "Okean" はソ連揚塔輸送機械工場科学研究所中央製作所でつくる．改良した点は．[1]ブレーキのコントロール装置を手押レバーより足で践むペダル式に変更，[2]歯止め装置をオペレーターのそばに持つて来た，[3]dynamometer は外からよく見える様にし，新しくスケイルの読取りの便利なものにした，[4]今まで捲揚げ速度を遅く出来ない欠点のあつたのを series motor を compound motor に入れかえ，gear の reduction rate を増して改良した．"Okean" ウインチに2モデルあり，大型のは drum capacity 12,000m (3.4mm wire) で，小型のは同じケーブル4,000m まいた drum capacity. drum 直径 (ケーブルなしで300mm，ケーブル共550mm) dynamometer は1,000Kg 張力まで10～15%の精度で測れる．モーターはラジオへの干渉をさけるため static surpressor をつけており，magnetic brake つき，防水の hand control は4段速切りかえできる．ウインチ・モーターの抵抗函は甲板下に収め水をさけている．種々な荷重に対する速度の表が与えられている．緩速は短時間に band brake でできる．stress は速度の大きな範囲に対し必要 (特にプランクトン・ウインチに——SYSOEV, 1951b)．

トロール・ウインチ——1949年以前には7,000m 以深までベントスが採集されなかつたのは適当なトロール・ウインチが出来なかつたからである．Step-tapered cable 0,5mm～15.5mm の15,400m 長使用の新ウインチが研究所工場で J.L. NEMETZ と P.L. KRYTIKOV 技師の設計で，1947年に出来た．

i) 捲取り機は作業場の後にあり，7 twin winding wheel と idler wheel とモーターより成る．

ii) Accumulator は円筒形スペリング.
iii) 主甲板下方の storage drum, spooler とモーターに連結
iv) 右舷側上にケーブルに導く sheaves (滑車輪).
v) コントローラー, 電気ブレーキ

直流の series motor 600 廻転/分, reduction 1/31.4, メーター・ゲージは捲取り機の drive wheel に連結. トロール・ウインチの特性は, ケーブル作動端末最大張力 9 トン, リール張力 0.3 トン, 吊下げ速度 0.5～0.95 m/sec, 揚げ速度 0.45～1.2 m/sec, ドラム直径500～1,400mm, capacity (ケーブル 8.5～15.5mm) 1,600m, ケーブルを乗せる step 16.5mm, accumulator 上の最大圧力 20 トン, accumulator 上の spooler の最大 movement 540mm, 一般重量は winding machine 5.3 トン, accumulator 2.5 トン, ドラム (ケーブル共) 8.2 トン, ケーブルは cross weave 構造 6×19+1 で各断面は long splice のより合せつなぎ. トロール・ウインチの他に hydrostatic coring tube や重い "Gordeev" bottom sampler の吊下げに使用. Accumulator 附属器で張力時間的変化記録計付, 改良 (SYSOEV, 1951c) は[1] SYSOEV-KUDINOV hydrostatic coring tube の吊下げ, 又はオツター・トロール使用に 11.0～15.5mm ケーブルを保つ第 2 のリール (8 トンを下らぬ破断張力下で使える) をつける. [2] キンクしない ケーブル 使用. [3] ケーブル乾しグリースをつける装置ができた.

アンカー・ウインチ——作動中の最大張力 (ケーブル末端) 8 トン, リールで最大張力 75 kg. 捲取り速度 0.3～1.4 m/sec, リール速 0.35～1.7 m/sec, ウインチ・モーター 5.8 kw, リール・モーター 7.8 kw, ドラム直径 500～1,950mm, cable capacity (14～25mm 直径) 15,000m, accumulator への最大圧力 (第 1 step 8 トン, 第 2·3 step 36 トン), accumulator 上の sheave 最大動き第 1 step 140mm, 第 2·3 step 400mm, accumulator 上 sheave 直径 500mm, 重量 (捲取り機 9.7 トン accumulator 2.5 トン, ドラム・ケーブル共) 19 トン. 現在の欠点は浅海錨定には ケーブルの第 1 section が軽すぎるので, 補助リール (直径 18.5～23.0 mm step-tapered cable 4,750m を収める) をつけて除去しておる. このケーブルで 3,500m 深まで錨定可能.

次に**特別観測研究設備**を紹介すると,

(1) ALEKSEEV current meter BPV-2

本器をケーブルにつける方法は, FROLOV, V.V. & P.M. PASETSKI (1958); Center for investigations of the Arctic Ocean. *Priroda*, No. 8, 56～62, 詳しい使用法と保持の教示は BURTOV, V.K.: K.T. BOGDANOV; A.E. GAMUTILOV & V.A. SHEREY (1957); Methods of hydrological work in the sea. Cap. III. Observation of currents. *Trudi Inst. Okeanol.*, **24**, 37～48 による.

本流速計は流線形の水密容器に収め, メーターを流れに向ける対の矢羽根を持つ. プロペラは水密ケースの下につけてあり, 重い金属性の grill で囲まれている. 自記部の主体はメーターからはずせる円筒形殻内に収めてある. 外側のプロペラは磁気的に自記器にカップルされている. この自記器は紙テープ上に流向・流速を記録する様作動させ, 記録はテープ上に磁尺円盤と同心の流速指示円盤上にあるタイプリボンをおしつけて印刷する. このメーターは流速 3～150 cm/sec の範囲内自記でき, 1,200m 深まで吊下げて測れる特製の耐圧容器を持つ. 本流速計は各 5 分毎の記録を 5 日間続けてとれるようにセットされ, 又は 1 時間毎の記録を 2 カ月間に亘つてとれる. 本器は本航海中北太平洋で 36 時間に亘り使用されたが, 波のため流向はやや正確を欠き, 流速の相当長時間の平均されたものを示すに対し, 流向は瞬間のものが印刷される点と, 数日間使用によりメーターのプロペラに生物がついて生長して汚損の欠点が認められた由である.

(2) バシサーモゾンデ (深海水温ゾンデ)

本器は水中へ吊下げて multiple conductor (絶縁ケーブル) で水温・水圧を自記している. 温度計は銅線コイルで作つた抵抗温度計で測り, 感度高く精度 ±0.1°C, pressure element は油を満した螺旋コイルより成り水圧下で等間隔 radial conduct strips の一組を通る electric contact arm を動かす. 電路が閉じる各時にコンデンサーの放電で記録部電路内に簡単な振動が起る. その放電でできた記録のマークが深度の逐次一定の増加を示す. この深さに対する温度は甲板下の実験室に記録される. 本器の現在欠点とするところは, コンデンサーの recharge により successive contact の間に充分時間がたたない時でも記録上の圧力痕跡が消えたことである. 例えば波の作用で器械が持上げられると contact arm が contact strip の上を通つて戻つた様な時に起る (絶縁はゴムを用いプラスチックを使つてない). 本器は 2,500～3,000m まで使用できる様設計されているが, 500m 深まで現在用いておる. 8,000m 深まで満足に働く seals (ケーブルと器械部容器の間の水密の seals——現在ケーブルをまいたゴムと真鍮の washer の packing alternate rings より成り, ケーブルと鉄の容器に対しゴム輪を拡げる様にしておしつけてある) が研究されている由.

(3) GEK

大体日本・米国のと同様だが, ケーブルの両電極が別々のケーブルとウインチで用いられている点が異る様である. 1954年初めて作られた. (BURKOV, 1956; SYSOEV & BUPKOV, 1957 Guide for the electora-magnetic methods of measuring speed of the ocean currents while under way. *Trudi Inst. Okeanol.*, **24**, 173～199: MOROSHKIN, K.V. 1957 Work with the EMIT (GEK) in open seas. *Trudi Inst. Okeanol.*, **25**, 62～87). 彼等は本器を EMIT (Electro-Magnetic Measure of Current) と呼ぶ.

(4) Anchored bouys

本船の "moored buoys" 錨定法が興味のある点で, mooring rope は普通の海洋観測用ロープ (3.6mm 航空機用コード, 鍍金) で観測ウインチのドラムに捲いてある. 繰出しは観測のと同じで, 綱でしばつた 3 つの爆弾型の錨の重い塊 (全重量 300～400 lbs) をつけただけ.

まづこの錘りをロープでさげて伸した長さを測り，少し余裕を持たした程度で充分ロープを出し，ブイをつけて海に投込む．この綱を出す間にアレキセーフ流速計を何ケ所かへ(最大深1,200m)つける．つけ方は FROLOV, V.V. & V.M. PASETSKI 1958 Center for investigations of the Arctic Ocean. *Priroda*, No. 8, 56～62. 今回の航海でも諸所で使用．ルーチンの仕事となつておる(シャックルはドラム上にある)．ブイや流速計の流失はめつたに起らぬが，2度ばかり日本の漁師にブイをひつかけられメチャメチャにされてブイをなくした由．ブイにはレーダー・ターゲットと灯標とラジオ・トランスミッターをつけてある．最深の流速計までのブイからのロープは，下のロープより大きい(強い)ので，下のロープは長い weak link の役をする．こうして何時もブイと流速計をなくさない様に回収している．

(5) 海底

底形を音測し，seismic work と corer bottom sampler で地質・堆積物を調べた．海底写真も撮影した．海底堆積物のサンプルは広く化学分析と鉱物学的分析に分け，含水量を測り，堆積物水の塩分を測り，粒子の大いさと形を調べ，硫黄・鉄・マンガン等の含有量を見た．更に実体写真撮影法で，海底の構造と共に海底動物相を調べておる．

(6) 採泥器 (bottom corers)

最も簡単な型は [1] **impact corer** で単筒引金仕掛けに錘りをつけてある．弁のある取りはずせる頭部は，筒の下端につけてある．上端にも引金仕掛けで働く弁がついている．この採泥管をおろす時は両端の弁を開けた状態で水は内部を自由に通る．着底時 corer のバネが働いて，海底へ自分のモーメンタムでめりこむ．頂部の弁が先づ衝撃で閉じ，筒内の底層サンプルを閉じこめる．次に底から引き抜く時，下端の弁が閉まる．(BEZRUKOV & PETELIN 1951 及び SYSOEV 1956 に詳記)．[2] **Piston corer** も用いられた．Vitiaz 号のは2管を収めたフレームと両端の間の長いケーブルとより成り，一端に転倒温度計を入れたケースがつけてある．1管はフレームに頑強にとりつけてあり，各端に底層水のサンプルがとれる様1)と同様弁をつけてある．着底でバネ仕掛けにより採泥管が堆積物の中にはいりこむ．管内のピストンは海底に相対的に定位に保たれ，sediments がピストン下方の圧力減少により管内に押込まれる．同時に第2の管がとじられ温度計が転倒する．(説明は SYSOEV 1951a 前掲，及び UDINTSEV, G.B.; A.P. LISITSIN; V.F. KANAEV; N.L. ZENKOVICH & F.I. GANPANTSEROV, 1956, Construction of piston corers with automatic stabilization of the piston. *Trudi Inst. Okeanol.*, **19**, 232～237)．

1), 2) 共に前甲板で "Okean" ウインチで操作する．管は海面からひきあげバラバラに切りはなし，レールに沿い台に載せて core を管から水圧押出し器(手動の高圧ポンプ，管の section 上端につける)で出す．

[3] **Hydrostatic corer** は後甲板から重量物用トロール・ウインチでおろす．本器 (GGGT-47) は SYSOEV & KUDINOV の設計で 34m 長 core はこれで採つた．そのトップに大きな鋼鉄タンクをつけ加えた丈で，あとは2)と同じ．このタンクはシールしてあり，吊下中大気圧を維持する．着底と共にバネ仕掛けが働く．はじめ軟い sediments を貫入中は 2) と同じ作用だが，より硬い密な sediments へ来るとタンクの弁が自動的に開いて，管内の圧力を減少させるので巨大な外圧により押込めの力が働き長い core を管内に摩擦に打勝つて押入れる．しかし変形しないコーアを得るには，管内の動きが corer の貫入の速さと同調されねばならぬ．これは実はそう容易でない．本器はルーチンには使つていない．

(7) 化学

塩分は化学研究室の担当でなく，海況研究室がやつており基本方式はクヌードセン法で滴定，ソ連 Arctic Institute 調製の二次標準海水を用いておる．光干渉計(後出)による塩分測定器(ベルリンの Institut für Meereskunde で戦前発表のものを参照)も使用，精度は ±0.02 ‰.

栄養塩分析は基本生産力班でやつておる．D. SMETANIN 担当．標準的比色法 (pH も)．カナダの POG では ATKINS-dibenzidine & WATTENBERG-NESSLER method. SMETANIN は主に深海溝水化学を調べておる．

(8) 海洋光学

M. KOZLIANINOV がソ連製器具でやつており，生産力研究を目的，100 cm 光路の濁度計はフィルターつきで，上層のプランクトン・デトリタスの測定を与える．きれいな水や深海サンプル水用には multiple angle scattermeter (KOZLIANINOV, M.V., 1957, A new instrument for measuring optical properties of sea water. *Trudi Inst. Okeanol.*, **25**, 135～143) が用いられ，偏光のアタッチメントあり，水中光の鉛直消散係数を4波長帯(ガラス・フィルター)で測り生産力研究に役立てている．セレニウム型光電池を使用，200m 深まで測つた．

光干渉計 (Interferometer ITR-2)，原理は光線が double slit を通つて来て水中で屈折することに基き，slit の下部から来る光線は蒸溜水を通じて eye-piece の下方の視野に定常的干渉縞を作る様再合成される．slit の上部を通つて来る光線は分割され基準と未知の海水サンプルを満したキュベットの中を再合成前に通してやる．Calibrate された compensator は以上2つの干渉縞の再整列 (realign) に用いる．非単色光の白色光線を用いて correct matching をやれるので，零次干渉線だけ白色．長さ 2, 4, 8 cm の3キュベット使用．4 cm のは Vitiaz 第25次航海で使つた155サンプルを塩検と光干渉計で塩分測定比較して，88 のデーターを干渉計の calibration curve 決定に選んだ．干渉計による塩検精度は，4 cm キュベットを使つて 0.02‰ で滴定のと変らぬ．干渉計を使用して標準サンプル，未知サンプルを蒸溜水槽中に平衡温度になるまで置く．2つの干渉縞の線を揃えてスケイルを読取る．次に水槽温度を読取り，塩分を既知の標準塩分とスケイルの読取りと水槽温度から三重複式表を用いて算出する．1回の塩検に 5～10 分を要する (SABININ, K.D. & A.E. GAMUTILOV, 1958, Application of the laboratory interferrometer ITR-2

to the determination of the salinity of sea water. *Meteorologia i Hidrologiia*, No. 5, 51～54 参照).

(9)　第1次生産力 (Primary productivity)

Olga KOBLENTZ-MISHKE (婦人植物生理学者) 担当. crop は計数法 value を測り重量を測る. 予備的調査後サンプルをモスコーに送る. 絶対法としての不信頼性から色素抽出法はつかわぬ. Rate は光のあるところの瓶と暗闇に置いた瓶で測り, $^{14}CO_4$ uptake で Y.U.I. SOROKIN の湖水で用いた方法で測つた. 本法にも不完全な点があり, net と gross の photosynthesis の間の不定状態の改良を考案中. 計数法は "end window" Geiger equipment.

(10)　気象測器

上甲板に気象研究室あり. 2名 (W. GUVANOV, J.A. VOLKOV) の専任に技術員が助けてやつておる. GUVANOV は熱交換を中心にした気象に興味を持つている. 1日7回ルーチン観測 (風速・気温・温度・表面水温・気圧等), 上層ラジオゾンデ観測(風速・気温・湿度・上層タービュレンス), 太陽放射 (直接・拡散) を観測し, 天気図を毎日作り, 予報を出している. 海洋調査の実施計画変更もこれに基いてなされる.

気温・湿度は手用器械を用いず potentiometric recorder のみによる. 船橋上には風速風向計と共に, 気温・温度感知部が設置されていて, 研究室では電気的に全部記録がよみとれる. Radiosonde には器械の上昇速度を測るプロペラがついておる (米加のにはこの代り高度計がついている). 受信装置の外見は変らぬ(カナダのは Hi-Fi receiver 使用). 彼等は大気と海洋の間の研究と定点観測船によるより "time series" data に大いに興味を持つていた.

(11)　講演 (英語で学者自身又は通訳つき)

海洋学——Dr. N.N. SYSOEV, これまでの IGY cruises を概報し, 特に興味ある点をのべた. 赤道海湧昇域にプランクトン多く, 燐酸塩豊富なこと, 赤道反流の North Tropical Front と South Tropical Front (2°～3°N) について, プランクトン増加, 透明度減少との一致を述べた. Anchored buoy station での海流測定は今航9点やり, 内5点の成果を示した. ALEKSEEV 流速計を 10, 250, 1,500m 深におろし, 表面流 60 cm/sec (この一部は潮汐流), net flow (∠4～36 時間測定) は 100m 深 29 cm/sec, 250m 深 12 cm/sec SWへ, 1,500m 深 2～4 cm/sec SW へ (北太平洋以北 40°N 176°W). 1,000～1,500m 深東部北太平洋・アラスカ湾の方では北上, 中部太平洋では南下流. 各水帯 (I, 50°N 以北, II. 50°～45°N の subarctic waters, III. subarctic と subtropical waters の mixed zone 45°～4°N, IV. subtropical waters 41°～35°N と4帯にわけ) の気象 (日射量・気温), 水温・塩分・輸送量・酸素・燐酸塩・生物 (plankton, benthos) を 0～100m. 0～1,000m とわけて表示し説明した.

地質学——Dr. N.L. ZENKEVICH が海底地形・底質特に多数海溝につき調査結果を報告, 新海溝を Santa Cruz Is. 附近 (170°E. 8°S あたり?) 6,140m 深発見, トンガ海溝 (20°S. 170°W 附近?) で 10,846m* 深トロール, こんな深海溝でもどれも底層水は stagnant でないことを豊富な O_2 量から示し, そこに色々な型の marine life の海底まで分布することを証示した. (*南半球では従来ケルマデイツク海溝 Horizone Deep 10, 032m が最深と聞いた). 世界最大深はマリアナ海溝中に 10,990m (1958 Vitiaz 発見). これは Challenger Deep のあたりである. そして以上海溝中のあるものに濁度流の存在の証を発見した.

プランクトン——Dr. K.W. BEKLENISHEV はこれまでの IGY-航海による動物プランクトン分布を説明, 8,000m 深まで採集した赤道を横切る断面分布図から tropical waters に比較的 zooplankton 少いこと, 黒潮・親潮混合域に多く, 殊に興味あることは subarctic と subtropical の form の動物プランクトンが共に混合域で相接し, 且つ親潮潜流相当域の黒潮下に混合亜寒帯系プランクトンが発見され, 両者共水塊分布とよく一致することが見出された.

魚類——Nikolai PARIN が海溝中の採集魚の sp. をわけて表示説明. Subtropical, intermediate water (中間層水) で沢山の fauna を採集した. Isaak-kid trawl で 7,000m 深で千島海溝 (10,382m) 中魚類採集, 亜寒帯・亜熱帯水の混合水帯を中心に (35°～50°N) サンマを多数集魚灯で採集してその資源分布図を示し, サンマ漁業に対する熱心を現わした.

ベントス——Dr. Z. FILATOVA は大洋底動物相について述べた. 彼女は色々な深度の海底上のspecies の沢山ある分布の山が 2,000～4,000m 深にあるらしいと述べた. マリアナ海溝 10,710m 深でも Polychaeta, Cirripedia, Amphipoda, Holothurioda 等, Tonga Trench 10,415m 深で Foraminifera, Polychaeta, Gastropoda, Bivalva, Cirripedia, Isopoda, Amphipoda, Holothurioda 等を発見. Pogonophora という新型生物も9,700m 深に千島海溝等に発見した. しかし生物は概して近岸に多く海溝に少い. マリアナ海溝 10,710m まで採集.

海洋光学——Milhail KOZLIANINOV, 新しい透明度測定器を説明, 海水の submarine illumination と back scattering を述べた. 深層水中にすら透明度の目立つた変異が見られた. 高い透明度の水帯が west wind drift (41°W 附近) に見出された.

附表 Vitiaz 号の過去の航海 (*Trudi Inst. Okeanol.*, Vols. 1～28)

航海番号	調査水域	期間	観測点番号
第1次	黒海試航，浦塩—スエズ運河—インド洋	1949年4月	18～167
2	オホーツク海	1949年8～9月	
	北西太平洋	9月～10月21日	
3	日本海	1950年1～2月	
4	南オホーツク海，千島近海	1950年5月18日～7月4日	371～513, 523～550
5	ベーリング海	1950年8～9月	
6	オホーツク海	1951年4～5月	
7	〃 〃	1951年6～7月	
8	ベーリング海	1951年9～10月	1052～1057
9	オホーツク海	1951年12月	
10	千島近海	1952年5～6月	1386～1503
11	ベーリング海	1952年6～7月	
12	オホーツク海	1952年9～11月	
13	ベーリング海	1952年12月～1953年1月	2035～2042
14	北西太平洋	1953年 5月1日～6月6日	2074～2188
15	中央オホーツク海	1953年 6～7月	2207～2218
16	ベーリング海方面	1953年9月	2227～2310
17	日本海	1954年3～4月	
18	オホーツク海	1954年7月18日～9月18日	2964～3116
19	北西太平洋	1954年9月15日～10月25日	3162～3214
20	〃 〃	1955年4月28日～6月14日	3222～3371
21	〃 〃 ，オホーツク海	1955年7～8月	3384～3441
22	黒潮域	1955年10～11月	3470～3535
23, 24, 25, 26	IGY 航海 Newzealand 方面へ	1957年11月～1958年2月	
27, 28, 29	〃 〃 北太平洋	1958年10月～1959年3月	4066～4131

特別寄稿

潮汐理論* (第4回)

日高 孝次**

19. 自由振動. 第二階級の振動

Hough は $E_2^s=0$ 即ち外力が作用しない場合の自由振動をも充分論じているがその中で第一階級の振動 (ossillations of the first class) と第二階級の振動 (ossillations of the second class) とを区別した. 第一階級の振動とは地球の自転速度が次第に小となり, 極限に於て $\omega=0$ となつても猶ほ振動として残るものを云い自転しない地球上で行われる海水の振動は, 自転が発生するにつれて第一階級の振動となる. 即ち

$$\lim_{\omega\to 0}\sigma=\pm\sqrt{\frac{n(n+1)hg\left(1-\frac{3}{2n+1}\frac{\rho}{\rho_0}\right)}{a^2}}$$

なる式を満すもので σ は正負2個あり, $\omega\neq 0$ である限り絶対値は等しくない.

これに反し第二階級の振動とは地球の自転が次第にその速度を減じて行くに伴い振動も亦次第に緩慢となり, $\omega\to 0$ では自由定常運動に帰する類の振動であり,

$$\lim_{\omega\to 0}\sigma=\frac{2s}{n(n+1)}\omega$$

なる性質を有つものである. 長週期振動 ($s=0$) には第二階級の振動が存在しないが自転速度が零にならなくても自由定常運動が存在し得るのである.

次表は Hough が計算した自由振動の週期であつて第二階級の振動は極めて長週期のものがある.

$\beta=40$, $\frac{\rho}{\rho_0}=0.18093$

		$s=1$		$s=2$	
		σ/ω	週期	σ/ω	週期
			日 時 分		日 時 分
第一振動階級	$n=2$	1.6337	14 41	1.3347	17 59
		−0.9834	24 24	−0.6221	38 34
	$n=4$	2.0685	11 36	1.9866	12 5
		−1.8234	13 10	−1.6595	14 28
第二振動階級	$n=1$	0.6401	1 13	—	—
	$n=3$	0.06251	16 0	0.1671	6 0
	$n=5$	0.03784	26 10	0.08178	12 5

$\beta=20$, $\frac{\rho}{\rho_0}=0.18093$

		$s=1$		$s=2$	
		σ/ω	週期	σ/ω	週期
			日 時 分		日 時 分
第一振動階級	$n=2$	1.8677	12 51	1.6133	14 52
		−1.2450	19 16	−0.8922	26 54
	$n=4$	2.4597	9 45	2.4349	9 51
		−2.2907	10 29	−2.1547	11 8
第二振動階級	$n=1$	0.7283	1 9	—	—
	$n=3$	0.08673	11 13	0.2129	4 17
	$n=5$	0.04848	20 15	0.10081	9 22

$\beta=10$, $\frac{\rho}{\rho_0}=0.18093$

		$s=1$		$s=2$	
		σ/ω	週期	σ/ω	週期
			日 時 分		日 時 分
第一振動階級	$n=2$	2.2027	11 5	1.9968	12 1
		−1.6439	14 50	−1.2855	18 40
	$n=4$	3.1183	7 40	3.1293	7 40
		−2.9961	8 1	−2.8856	8 19
第二振動階級	$n=1$	0.8149	1 5	—	—
	$n=3$	0.1124	8 21	0.2554	3 22
	$n=5$	0.05625	17 19	0.11472	8 17

$\beta=5$, $\frac{\rho}{\rho_0}=0.18093$

		$s=1$		$s=2$	
		σ/ω	週期	σ/ω	週期
			日 時 分		日 時 分
第一振動階級	$n=2$	2.6288	9 8	2.5535	9 24
		−2.1611	11 6	−1.8575	12 55
	$n=4$	4.1659	5 46	4.1818	5 44
		−4.0506	5 56	−3.9592	6 4
第二振動階級	$n=1$	0.8873	1 3	—	—
	$n=3$	0.13375	7 11	0.2876	3 11
	$n=5$	0.06105	16 9	0.12332	8 3

* 1958 年5月1日受理

** 東京大学地球物理学教室

以上を通覧するに n が偶数である場合は第一階級の振動に相当し，n が奇数である場合は第二階級の振動に相当する．無論 $n \geqq s$ でなければならないから $s=2$ では $n=1$ の振動は現れない．第二階級の振動は一般に甚しく週期が長く，短かくても1恒星日で以上に計算したものでも26日に達する．$s=1$ では $s=2$ よりも長くまた n が大きくなれば益々長くなる点が第一階級の振動と異る点である．また海が浅ければ週期は長くなることは第一階級の振動と変らないが自転が次第に緩慢となつて終に停止すれば週期は限り無く長くなる．

20. Laplace の理論と Hough の理論との比較

一般に長週期潮汐は平衡潮汐に対して正位相即ちこれと同一位相であつて，その節円の位置は Laplace の解でも Hough の解でも僅かながら異つている．

これに反し半日潮汐では水深が大であれば，正位置であり，海が深ければ深い程平衡潮高に近づいて行くが水深が約29040呎になると赤道上の潮差は極めて大きくなる．Laplace の結果に依れば水深 14520 呎と 29040 呎の間で最大共振の起る水深があり，それ以浅の水深では潮汐は逆位相に，それ以深では正位相にある．また7260呎以浅に第二の臨界水深がある．これに反し Hough の結果では海水相互の引力を考慮したために幾分これら臨界水深が異り水深29040呎に対しては自由振動の週期は $12^h\,01^m$ で水深 7260 呎に対しては $12^h\,05^m$ であること既述の通りである．

21. 極海の潮汐に関する Goldsbrough の理論. G.R. Goldsbrough(1) は 1915 年に至つて1つの緯度圏を海岸とし南北極の何れか一つを含む海即ち極海の動力学的潮汐論を発表した．まず水深 h を一定と考え潮汐に関する一般微分方程式 (8.1) から出発し，これに $\nu=\sin\theta$，$\beta=\dfrac{4\omega^2a^2}{gh}$ と置いて

$$\sqrt{1-\nu^2}\,\frac{d}{d\nu}\left[\frac{-\nu\sqrt{1-\nu^2}\,\dfrac{d\zeta'}{d\nu}-\dfrac{s}{f}\sqrt{1-\nu^2}\,\zeta'}{f^2-1+\nu^2}\right]+\frac{\dfrac{s}{f}(1-\nu^2)\dfrac{d\zeta'}{d\nu}+\dfrac{s^2}{\nu}\zeta'}{f^2-1+\nu^2}=\beta\nu\zeta \tag{21.1}$$

を得る．特に自由振動に対しては ζ' の代りに ζ と置いて

$$\nu(1-\nu^2)\frac{d^2\zeta}{d\nu^2}-\frac{d\zeta}{d\nu}\left[2\nu^2-1+\frac{2\nu^2(1-\nu^2)}{f^2-1+\nu^2}\right]-\zeta\left[\frac{s}{f}\nu+\frac{s}{f}\frac{2\nu(1-\nu^2)}{f^2-1+\nu^2}+\frac{s^2}{\nu}+\beta\nu(f^2-1+\nu^2)\right]=0 \tag{21.2}$$

とすれば宜しい．

さて Goldsbrough の理論は極めて複雑で到底その詳細を述べる余裕がないから大要丈けに止める．まず

$$\nu\frac{d\zeta'}{d\nu}+\frac{s}{f}\zeta'=X(f^2-1+\nu^2) \tag{21.3}$$

と置けば (21.1) は

$$-f^2\nu(1-\nu^2)\frac{dX}{d\nu}+f^2\nu^2X+sf(1-\nu^2)X+s^2\zeta'=\beta f^2\nu^2\zeta \tag{21.4}$$

となる．そこで ζ', $\bar{\zeta}$, X を何れも $\nu=\sin\theta$ の冪級数に展開出来るとし，

$$\zeta'=\sum_{n=0}^{\infty}A_n\nu^{s+n},$$

$$\bar{\zeta}=\sum_{n=0}^{\infty}B_n\nu^{s+n},$$

$$X=\sum_{n=0}^{\infty}C_n\nu^{s+n},$$

即ち

$$\zeta=\zeta'+\bar{\zeta}=\sum_{n=0}^{\infty}(A_n+B_n)\nu^{s+n}$$

と置いて (21.3) に代入し係数を比較するのであるが，その際境界となる緯度圏 $\nu=\nu_1$ で

$$\zeta'=\sum_{n=0}^{\infty}A_n\nu_1^{s+n}=0$$

が満たされると云う条件を附加するのである．但し ν_1 が1に近づく場合即ち境界をなす緯度圏が赤道に近づく場合には ζ', X 等の級数の収斂が悪くなつて解が面倒になる．

結果を述べるとまず第一種即ち長週期の潮汐では次表の様な最緩自由振動が得られる．

第一種自由潮汐の最緩振動

境界 $\nu_1=\dfrac{1}{4}$，緯度 75°30′

β 及び水深	$f^2=\dfrac{\sigma^2}{4\omega^2}$	週期 (恒星時)	同 (自転のない場合)
$\beta=5$ (58080 呎)	45.08	$1^h\ 47^m$	$1^h\ 48^m$
$\beta=10$ (29040 呎)	23.05	2 30	2 33
$\beta=20$ (14520 呎)	12.02	3 27	3 37
$\beta=40$ (7260 呎)	6.51	4 42	5 6

境界 $\nu_1=\dfrac{1}{2}$，緯度 60°

β 及び水深	$f^2=\dfrac{\sigma^2}{4\omega^2}$	週期 (恒星時)	同 (自転のない場合)
$\beta=5$ (58080 呎)	11.74	$3^h\ 30^m$	$3^h\ 40^m$
$\beta=10$ (29040 呎)	6.28	4 47	5 12
$\beta=20$ (14520 呎)	3.59	6 20	7 22
$\beta=40$ (7260 呎)	2.25	8 0	10 10

第一種の強制振動即ち長週期潮汐の主なものは太陰半月潮 Mf である．この分潮の起潮力ポテンシァルに対す

(1) G.R. Goldsbrough, The dynamical theory of the tides in a polar basin. Proc. London Math. Soc. **14**, 1915, 31-66.

る平衡潮高は $\zeta=-H'\left(\frac{2}{3}-\nu^2\right)$, $f^2=0.00133$ であることは既に §4 で見た通りである．これに対し次の結果が得られた．

太陰半月潮 Mf, $\nu_1=\frac{1}{4}$ (=緯度 75°30′)

$\beta=5$ (58080 呎)

$$\zeta/H_0=-\{0.0306-0.962\nu^2-0.305\nu^4-0.0102\nu^6+0.018\nu^8-\cdots\cdots\}\cos(\sigma t+\varepsilon);$$

$\beta=10$ (29040 呎)

$$\zeta/H_0=-\{0.0298-0.926\nu^2-0.587\nu^4-0.152\nu^6+0.029\nu^8-\cdots\cdots\}\cos(\sigma t+\varepsilon);$$

$\beta=20$ (14520 呎)

$$\zeta/H_0=-\{0.0284-0.858\nu^2-1.03\nu^4-0.735\nu^6-0.056\nu^8-\cdots\cdots\}\cos(\sigma t+\varepsilon);$$

$\beta=40$ (7260 呎)：

$$\zeta/H_0=-\{0.0260-0.740\nu^2-1.62\nu^4-1.89\nu^6-0.893\nu^8-\cdots\cdots\}\cos(\sigma t+\varepsilon)$$

太陰半月潮 Mf, $\nu_1=\frac{1}{2}$ (=緯度 60°)

$\beta=5$ (58080 呎)：

$$\zeta/H_0=-\{0.117-0.865\nu^2-0.285\nu^4-0.0158\nu^6+0.0136\nu^8+0.0091\nu^{10}+0.0056\nu^{12}+\cdots\cdots\}\cos\sigma t+\varepsilon);$$

$\beta=10$ (29040 呎)：

$$\zeta/H_0=-\{0.105-0.737\nu^2-0.493\nu^4-0.096\nu^6+0.0170\nu^8+0.0208\nu^{10}+0.0133\nu^{12}+\cdots\cdots\}\cos(\sigma t+\varepsilon).$$

$\beta=02$ (14520 呎)：

$$\zeta/H_0=-\{0.0887-0.557\nu^2-0.751\nu^4-0.358\nu^6-0.0441\nu^8+0.0382\nu^{10}+0.0353\nu^{12}+\cdots\cdots\}\cos(\sigma t+\varepsilon).$$

$\beta=40$ (7260 呎)：

$$\zeta/H_0=-\{0.0668-0.333\nu^2-0.916\nu^4-0.915\nu^6-0.468\nu^8-0.0680\nu^{10}+0.0708\nu^{12}+\cdots\cdots\}\cos(\sigma t+\varepsilon).$$

次に第二種の潮汐即ち一日潮汐では最緩自由振動が次の様になる．

第二種自由潮汐の最緩振動（近似値）

β 及び水深	$\sigma/2\omega$	
	$\nu_1=\frac{1}{4}$	$\nu_1=\frac{1}{2}$
$\beta=5$ (58080 呎)	+3.35 −2.70 +0.007	+1.98 −1.32 −0.024
$\beta=10$ (29040 呎)	+2.51 −1.89 +0.0069	+1.58 −0.93 +0.022
$\beta=20$ (14520 呎)	+1.95 −1.29 +0.0065	+1.34 −0.68 +0.018
$\beta=40$ (7260 呎)	+1.58 −0.91 +0.0058	+1.17 −0.51 +0.013

この表で見られる三種の振動の中 σ の最も小さいものは Hough が発見した第二階級の振動である．(1)

(1)　§19 参照．

第二種の強制潮汐は既述の通り一般に小さい．Goldsbrough の結果でも同様である．日月合成一日潮 K_1 即ち $f=\frac{1}{2}$ の場合に次の結果が得られる．

日月合成一日潮 K_1　$\nu_1=\frac{1}{4}$ (=緯度 75°30′)

$\beta=5$ (58080 呎)：

$$\zeta/H_1=\sqrt{(1-\nu^2)}\{0.895\nu-0.518\nu^3-0.132\nu^5-0.122\nu^7-\cdots\cdots\}\cos(\sigma t+\phi+\varepsilon).$$

$\beta=10$ (29040 呎)：

$$\zeta/H_1=\sqrt{(1-\nu^2)}\{0.805\nu-1.12\nu^3-2.76\nu^5-2.725\nu^7-2.348\nu^9-\cdots\cdots\}\times\cos(\sigma t+\phi+\varepsilon).$$

$\beta=20$ (14520 呎)：

$$\zeta/H_1=\sqrt{(1-\nu^2)}\{0.648\nu-2.53\nu^3-6.34\nu^5-6.43\nu^7-5.05\nu^9\cdots\cdots\}\cos(\sigma t+\phi+\varepsilon).$$

$\beta=40$ (7260 呎)：

$$\zeta/H_1=\sqrt{(1-\nu^2)}\{0.703\nu-4.87\nu^3-15.7\nu^5-18.3\nu^7-13.2\nu^9\cdots\cdots\}\times\cos(\sigma t+\phi+\varepsilon)$$

日月合成一日潮 K_1　$\nu_1=\frac{1}{2}$ (=緯度 60°)

$\beta=5$ (58080 呎)：

$$\zeta/H_1=\sqrt{(1-\nu^2)}\{0.634\nu-0.640\nu^3-1.30\nu^5-1.25\nu^7-0.928\nu^9-0.837\nu^{11}\cdots\cdots\}\cos(\sigma t+\phi+\varepsilon).$$

$\beta=10$ (29040 呎)：

$$\zeta/H_1=\sqrt{(1-\nu^2)}\{0.408\nu-1.49\nu^3-2.84\nu^5-2.69\nu^7-2.30\nu^9-2.022\nu^{11}-1.813^{13}\cdots\cdots\}\times\cos(\sigma t+\phi+\varepsilon).$$

$\beta=20$ (14520 呎)：

$$\zeta/H_1=\sqrt{(1-\nu^2)}\{0.211\nu-3.36\nu^3-6.82\nu^5-6.43\nu^7-4.90\nu^9-3.86\nu^{11}-3.28\nu^{13}\cdots\cdots\}\times\cos(\sigma t+\phi+\varepsilon).$$

$\beta=40$ (7260 呎)：

$$\zeta/H_1=\sqrt{(1-\nu^2)}\{0.267\nu-6.59\nu^3-17.6\nu^5-19.1\nu^7-12.9\nu^9-7.18\nu^{11}-4.32\nu^{13}\cdots\cdots\}\times\cos(\sigma t+\phi+\varepsilon).$$

最後に第三種潮汐を述べると先づ自由振動に関する近似値は次表で与えられる．

第三種自由潮汐の最緩振動（近似値）

β 及び水深	$\sigma/2\omega$	
	$\nu_1=\frac{1}{4}$	$\nu_1=\frac{1}{2}$
$\beta=5$ (58080 呎)	4.82 −4.33 0.0096	2.80 −2.33 0.03
$\beta=10$ (29040 呎)	3.53 −3.03 0.0093	2.12 −1.66 0.029
$\beta=20$ (14520 呎)	2.64 −2.15 0.0089	1.69 −1.21 0.025
$\beta=40$ (7260 呎)	2.01 −1.51 0.0082	1.39 −0.91 0.020

第二階級の振動が玆でも得られている.

Goldsbrough は半日潮に対し自由及び強制両潮汐が同一週期になる水深を計算した. かかる水深では潮差が無限に増大するのである. 日月合成半日潮 K_2 (f=1.000000) に対して β の値は $\nu_1=\frac{1}{4}$ で 7760, $\nu_1=\frac{1}{2}$ に対して 552 である. これらの値は夫々水深 38呎及び 526 呎に相当するが, 現実の極海の水深に比して著じるしく浅く, 極海の潮差が共振のために大きくなるものとは考えられない.

強制潮汐を論ずるに当り Goldsbrough は日月合成半日潮 K_2 (f=1.000000) を計算した. その結果は次の様になる.

日月合成半日潮 $\sum_2$ $\nu_1=\frac{1}{4}$ (=緯度 75°30′)

β=5 (58080 呎):

$$\zeta/H_2=\nu^2\{1+0.0522\nu^2-0.592\nu^4-0.421\nu^6-0.258\nu^8-\cdots\cdots\}\times\cos(\sigma t+2\phi+\varepsilon).$$

β=10 (29040 呎):

$$\zeta/H_2=\nu^2\{1+0.104\nu^2-1.06\nu^4-0.856\nu^6-0.477\nu^8-\cdots\cdots\}\times\cos(\sigma t+2\phi+\varepsilon).$$

β=20 (14520 呎):

$$\zeta/H_2=\nu^2\{1+0.209\nu^2-2.365\nu^4-1.829\nu^6-0.665\nu^8-\cdots\cdots\}\cos(\sigma t+2\phi+\varepsilon).$$

β=40 (7260 呎):

$$\zeta/H_2=\nu^2\{1+0.419\nu^2-4.75\nu^4-3.76\nu^6-0.172\nu^8-\cdots\cdots\}\cos(\sigma t+2\phi+\varepsilon).$$

日月合成半日潮 K_2 $\nu_1=\frac{1}{2}$ (=緯度 60°)

β=5 (58080 呎)

$$\zeta/H_2=\{1+0.213\nu^2-0.492\nu^4-0.371\nu^6-0.244\nu^8-0.175\nu^{10}-0.137\nu^{12}-0.111\nu^{14}-\cdots\cdots\}\cos(\sigma t+2\phi+\varepsilon).$$

β=10 (29040 呎):

$$\zeta/H_2=\nu^2\{1+0.428\nu^2-0.982\nu^4-0.795\nu^6-0.460\nu^8-0.290\nu^{10}-0.207\nu^{12}-0.162\nu^{14}-\cdots\cdots\}\times\cos(\sigma t+2\phi+\varepsilon).$$

β=20 (14520 呎):

$$\zeta/H_2=\nu^2\{1+0.869\nu^2-2.02\nu^4-1.80\nu^6-0.810\nu^8-0.314\nu^{10}-0.154\nu^{12}-0.100\nu^{14}-\cdots\cdots\}\times\cos(\sigma t+2\phi+\varepsilon).$$

β=40 (7260 呎):

$$\zeta/H_2=\nu^2\{1+1.83\nu^2-3.86\nu^4-4.53\nu^6-1.26\nu^8-1.87\nu^{10}-1.21\nu^{12}-0.658\nu^{14}-\cdots\cdots\}\cos(\sigma t+2\phi+\varepsilon).$$

以上論じ来つた極海の理論に於ける潮高の式を検討してみると Darwin や Hough が全地球を包む海洋に関して得た結果とその形に大差なく只大いさが異るのみであることを知るのであるが, その他に次の諸点は注目に値する.

まづ次表で判る様に長週期潮汐は $\nu_1=\frac{1}{2}$ の場合の境界値を除けば平衡潮高に比して極めて小さく, また境界では逆位相にある. 本表は Goldsbrough の表を稍改変してあるが全地球を包む海洋に対する値は β=10 及び 40 では Darwin の結果を, また β=5 に対しては Lamb (f^2=0 としてある) の結果を用いてある. Hough の値を用いなかつたのは Goldsbrough の研究では変形した水層の影響を考慮してない点が Hough の理論と異るからである.

尚 Darwin 及び Turner が与えた補正平衡潮汐論を以上の様な極海に応用したものは第一種振動に関する限り極めて良く極海の潮高を表すのである.(1) 即ち第一種潮汐の平衡潮高は

$$\bar{\zeta}=H_0\left(\mu^2-\frac{1}{3}\right)\cos(\sigma t+\varepsilon)+C$$

であるから μ に関係の無い項 C を

$$\iint\bar{\zeta}ds=0$$

なる条件で決定したものが補正平衡論である. 但し ds は面積素で積分は海面のみに及ぼす. 緯度圏 $\nu_1=\sqrt{1-\mu_1^2}$ で囲まれた海についてこの積分を遂行すると補正した平衡潮高は

$$\zeta=H_0\left\{\left(\frac{2}{3}-\nu^2\right)-\frac{1}{3}(1-\nu_1^2)-\frac{1}{3}(1-\nu_1^2)^{\frac{1}{2}}\right\}\cos(\sigma t+\varepsilon)$$

となる. この式に依つて ζ/H_0 を計算してみると次表に示す通りGoldsbroughの極海理論と極めて良く一致する.

$\nu_1=\frac{1}{4}$ (緯度 75° 30′) で囲まれた極海の長週期潮汐の潮高 ζ/H_0

	極に於ける潮高		海岸 $\nu=\nu_1$ での潮高	
	極海理論	補正平衡理論	極海理論	補正平衡理論
β=5	0.0306	0.0315	−0.0307	−0.0310
β=10	0.0208	0.0315	−0.0305	−0.0310
β=20	0.0284	0.0315	−0.0293	−0.0310
β=40	0.0260	0.0315	−0.0270	−0.0310

$\nu_1=\frac{1}{2}$ (緯度 60°) で囲まれた極海の長週期潮汐の潮高 ζ/H_0

	極に於ける潮高		海岸 $\nu=\nu_1$ での潮高	
	極海理論	補正平衡理論	極海理論	補正平衡理論
β=5	0.117	0.128	−0.115	−0.122
β=10	0.105	0.128	−0.112	−0.122
β=20	0.0887	0.128	−0.103	−0.122
β=40	0.0668	0.128	−0.0899	−0.122

以上の結果から見て補正平衡理論は海があまり大きくなく水深が余り小でなければ長週期潮汐に関する限りGoldsbroughの動力学的の潮汐を相当良く表していると云えよう.

(1) G.R. Goldsbrough, The Dynamical Theory of the Tides in a Zonal Ocean, Proc. London Math. Soc., 2nd Ser. Vol. 14 (1915) Pp. 229-229.

一日潮と半日潮とは共に極で $=0$ となることは平衡潮高と同様である．併し境界ではそう簡単に行かない．β が増加するにつれて一日潮汐は複雑な変化をすることは次表の通りである．また半日潮は β に余り関係なく大体平衡潮高に等しい．自転する円形水槽では正しく平衡値に等しいのである．

境界 $(\nu=\nu_1)$ に於ける潮高

	一日潮		半日潮	
	$\nu_1=\frac{1}{4}$	$\nu_1=\frac{1}{2}$	$\nu_1=\frac{1}{4}$	$\nu_1=\frac{1}{2}$
$\beta=5$	$+\frac{\sqrt{5}}{16}H_1''$ $\times 0.876$	$+\frac{\sqrt{3}}{4}H_1''$ $\times 0.386$	$+\frac{1}{16}H_2'''$ $\times 1.00$	$+\frac{1}{4}H_2'''$ $\times 1.02$
10	$\times 0.736$	$-\frac{\sqrt{3}}{4}H_1''$ $\times 0.194$	$\times 1.00$	$\times 1.03$
20	$\times 0.471$	$-\frac{\sqrt{3}}{4}H_1''$ $\times 1.16$	$\times 1.00$	$\times 1.06$
40	$\times 0.439$	$-\frac{\sqrt{3}}{4}H_1''$ $\times 2.86$	$\times 1.00$	$\times 1.14$

但し $+\frac{\sqrt{5}}{16}H_1''$, $+\frac{\sqrt{3}}{4}H_1''$, $\frac{1}{16}H_2'''$, $+\frac{1}{4}H_2'''$ は夫々平衡潮高である．

22. 帯状海の潮汐に関する Goldsbrough の理論

Goldsbrough は同じく 1915 年帯状海即ち 2 本の緯度圏に囲まれた海の潮汐を論じた．(1) その手法は極海の理論に於けるものと大体同じであるが只これら 2 本の緯度圏に沿うてこれに直角方向の速度成分が $=0$ であることを考慮しなければならない．実際の数値例として 14° 30′N と 30°N との両緯度圏に囲まれた帯状海及び 30°N と 14° 30′S との両緯度圏に囲まれた帯状海とについて自由及び強制潮汐を計算している．

まづ第一種潮汐では次の結果を得た．

(i)　+14° 30′ 及び +30° の緯度圏に囲まれた海洋では自由振動に対しては $\beta f^2=54$ なる近似式が得られた．これから $\beta=5,\ 10,\ 20,\ 40$ に対して $f\left(=\frac{\sigma}{2\omega}\right)$ は夫々大体 3.3, 2.3, 1.6, 1.2 となる．

第一種強制潮汐の代表として太陰半月潮汐 $Mf(f^2=0.00133)$ に関する計算の結果は次の通りである．但し平衡潮高を $\zeta=H_0\left(\mu^2-\frac{1}{3}\right)$ とし，各式の右辺では $\cos(\sigma t+\varepsilon)$ を省略してある．

$\beta=5$:　水深 $=58080$ 呎:

$$\zeta/H_0=-0.146-0.0002\mu+1.000\mu^2+0.0518\mu^3-0.182\mu^4+0.0310\mu^5+0.157\mu^6+0.0317\mu^7+0.0946\mu^8+0.0273\mu^9+0.0869\mu^{10}+\cdots\cdots$$

(1) G.R. Goldsbrough, The Dynamical Theory of the Tides in a Zonal Ocean. Proc. London Math. Soc. 2nd Ser., **14** (1915) Pp 207-229.

$\beta=10$:　水深 $=29040$ 呎:

$$\zeta/H_0=-0.146-0.0005\mu+1.001\mu^2+0.104\mu^3-0.365\mu^4+0.0621\mu^5+0.313\mu^6+0.0799\mu^7+0.1437\mu^8+0.0737\mu^9+0.1598\mu^{10}\cdots\cdots$$

$\beta=20$:　水深 $=14520$ 呎:

$$\zeta/H_0=-0.146-0.0009\mu+1.002\mu^2+0.207\mu^3\mu^3-0.725\mu^4+0.1211\mu^5+0.629\mu^6+0.236\mu^7+0.1045\mu^8+0.229\mu^9+0.263\mu^{10}\cdots\cdots$$

$\beta=40$:　水深 $=7260$ 呎:

$$\zeta/H_0=-0.147-0.0017\mu+1.004\mu^2+0.417\mu^3-1.456\mu^4+0.246\mu^5+1.385\mu^6+0.7702\mu^7-0.418\mu^3+0.782\mu^9+0.458\mu^{10}+\cdots\cdots$$

(ii)　30° と −14° 30′ の緯度圏に囲まれた海洋では自由振動については $\beta f^2=14.3$ なる近似式を得，また第一種の強制潮汐として大陰半月潮汐を計算した結果は次の通りである．

$\beta=5$:　水深 $=58080$ 呎:

$$\zeta/H_0=-0.0619+0.0001\mu+1.0002\mu^2-0.0171\mu^3-0.155\mu^4-0.0202\mu^5-0.449\mu^6-0.0279\mu^7+0.302\mu^8-0.0257\mu^9+0.306\mu^{10}+\cdots\cdots$$

$\beta=10$:　水深 $=29040$ 呎:

$$\zeta/H_0=-0.613+0.0001\mu+1.001\mu+1.0004\mu^2-0.0336\mu^3-0.155\mu^4-0.0202\mu^5+0.449\mu^6-0.0279\mu^7+0.302\mu^8-0.0257\mu^9+0.0306\mu^{10}\cdots\cdots$$

$\beta=20$:　水深 $=14520$:　呎水 $=14520$ 深:

$$\zeta/H_0=-0.0601+0.0002\mu+1.0007\mu^2-0.0655\mu^3-0.302\mu^4-0.0389\mu^5+0.0911\mu^6-0.0747\mu^7+0.546\mu^8-0.0724\mu^9+0.688\mu^{10}\cdots\cdots$$

$\beta=40$:　呎次 $=7260$ 呎:

$$\zeta/H_0=-0.0578+0.0005\mu+1.0014\mu^2-0.123\mu^3-0.581\mu^4-0.0718\mu^5+1.84\mu^6-0.228\mu^7+0.796\mu^8-0.2319+1.72\mu^{10}\cdots\cdots$$

次に第二種潮汐では自由振動の計算は極めて困難であるが強制潮汐については次の結果を得た．

(i)　+14°30′ 及び +30° の両緯度圏に囲まれた海洋の日月合成一日潮汐 K_1 では平衡潮高は $(=H_1\mu(1-\mu^2)^{\frac{1}{2}}$ でまた以下諸式の左辺では $\cos(\sigma t+\phi+\varepsilon)$ なる係数が省略してある．

$\beta=5$:　水深 $=58050$ 呎:

$$\zeta/H_1=[-7.26-9.99\mu^2-14\cdot8\mu^4-16.3\mu^6-17.5\mu^8-18.2\mu^{10}+\cdots\cdots+0.756\mu-0.1573\mu^3+0.202\mu^5+0.170\mu^7+0.185\mu^9+\cdots\cdots]\sqrt{\nu-\mu^2}$$

$\beta=10$:　水深 $=29040$:

$$\zeta/H_1=[-0.5845-0.438\mu^2-1.49\mu^4-1.54\mu^6-1.82\mu^8-1.97\mu^{10}+\cdots\cdots+0.858\mu-0.358\mu^3+0.510\mu^5+0.339\mu^7+0.417\mu^9+\cdots\cdots]\sqrt{1-\mu^2}$$

$\beta=20$:　水深 14520 呎:

$$\zeta/H_1=[-0.411+0.206\mu^2-1.63\mu^4-1.04\mu^6-1.75\mu^8-1.93\mu^{10}+\cdots\cdots+0.661\mu-0.553\mu^3+0.848\mu^5+0.322\mu^7+0.608\mu^9+\cdots\cdots]\sqrt{1-\mu^2}$$

$\beta=40$:　水深 $=7260$ 呎:

$$\zeta/H_1=[-0.264+0.793\mu^2-2.20\mu^4+0.228\mu^6-1.98\mu^8-1.61\mu^{10}+\cdots\cdots+0.395\mu-0.639\mu^3+1.19\mu^5-0.0415\mu^7+0.833\mu^9\cdots\cdots]\sqrt{1-\mu^2}$$

(ii) 同じく +30° と −14° 30′ の両緯度圏に囲まれた海洋の日月合成一日潮汐 K_1 の式は次の様になる.

$\beta=5$: 水深=58080 呎:

$$\zeta/H_1=[-1.33-1.83\mu^2-2.72\mu^4-3.24\mu^6-3.45\mu^8 -3.59\mu^{10}+\cdots\cdots+1.094\mu-0.229\mu^3+0.310\mu^5 +0.131\mu^7+0.155\mu^9\cdots\cdots]\sqrt{1-\mu^2}$$

$\beta=10$: 水深=29040 呎:

$$\zeta/H_1=[-0.241-0.181\mu^2-0.569\mu-0.595\mu^6 -0.699\mu^8-0.759\mu^{10}+\cdots\cdots+1.184\mu-0.493\mu^3 +0.703\mu^5+0.470\mu^7+0.542\mu^9\cdots\cdots]\sqrt{1-\mu^2}$$

$\beta=20$: 水深=14520 呎:

$$\zeta/H_1=[-0.196+0.0980\mu^2-0.344\mu-0.169\mu^6 -0.323\mu^8-0.350\mu^{10}+\cdots\cdots+1.472\mu-1.23\mu^3 +1.76\mu^5+0.628\mu^7+1.204\mu^9\cdots\cdots]\sqrt{1-\mu^2}$$

$\beta=40$: 水深=7260 呎:

$$\zeta/H_1=[-0.258+0.774\mu^2-2.15\mu^4+0.305\mu^6-1.904\mu^8 -1.50\mu^{10}+\cdots\cdots+2.914\mu-4.86\mu^3+8.74\mu^5 -0.502\mu^7+5.96\mu^9\cdots\cdots]\sqrt{1-\mu^2}$$

最後の第三種潮汐では自由振動を決定することが困難であつたが半日週期の強制潮汐については次の諸結果が得られた. 但し平衡潮高は $\bar{\zeta}=H_2(1-\mu^2)$ で諸式の左辺では $\cos(\sigma t+2\phi+\varepsilon)$ なる係数を省略してある.

(i) +30° と +14° 30′ の両緯度圏で囲まれた帯状海洋では次の結果を得た. 水

$\beta=5$: 水深48080 呎:

$$\zeta/H_2=[0.849-2.58\mu^2-2.53\mu^4-3.76\mu^6-4.80\mu^8 -5.86\mu^{10}+\cdots\cdots+2.53\mu+2.95\mu^3+4.74\mu^5 +6.10\mu^7+7.46\mu^9+\cdots\cdots](1-\mu^2)$$

$\beta=10$: 水深=29040 呎:

$$\zeta/H_2=[-0.554-1.89\mu^2-2.50\mu^4-3.61\mu^6-4.59\mu^8 -5.61\mu^{10}+\cdots\cdots-0.311\mu-0.104\mu^3-0.363\mu^5 0.433\mu^7-0.545\mu^9+\cdots\cdots](1-\mu^2)$$

$\beta=20$: 水深=14520 呎:

$$\zeta/H_1=[-0.042-2.71\mu^2-1.40\mu^4-2.81\mu_1-2.67\mu^8 -3.45\mu^{10}+\cdots\cdots+0.668\mu-0.890\mu^3+1.56\mu^5 +0.769\mu^7+1.30\mu^9\cdots\cdots](1-\mu^2)$$

$\beta=40$: 深呎=7260 呎:

$$\zeta/H_2=[-0.030+2.49\mu^2-4.35\mu^4+2.20\mu^6-2.98\mu^8 -1.02\mu^{10}+\cdots\cdots+1.47\mu-6.87\mu^3+8.35\mu^5 -5.98\mu^7+1.81\mu^9-\cdots\cdots](1-\mu^2)$$

(ii) +30° と −14° 30′ の両緯度圏に囲まれた帯状海洋では次の結果を得た.

$\beta=5$: 水深=58080 呎:

$$\zeta/H_2=[-3.52-4.76\mu^2-8.89\mu^4-12.15\mu^6-15.59\mu^8 -19.03\mu^{10}+\cdots\cdots-1.51\mu-1.76\mu^3-2.83\mu^5 -3.74\mu^7-4.67\mu^9\cdots\cdots](1-\mu^2)$$

$\beta=10$: 水深=29040 呎:

$$\zeta^\circ H_2=[-0.509-1.98\mu^2-2.50\mu^4-3.66\mu^6-4.64\mu^8 -5.67\mu^{10}+\cdots\cdots+0.215\mu+0.0718\mu^3+0.251\mu^5 +0.299\mu^7+0.377\mu^9\cdots\cdots](1-\mu^2)$$

$\beta=20$: 水深 14520 呎:

$$\zeta/H_1=[-1.818+9.73\mu^2-6.06\mu^4+5.28\mu^6-2.019\mu^8 +3.49\mu^{10}+\cdots\cdots+11.4\mu-15.2\mu^3+11.4\mu^5 +0.500\mu^7+4.56\mu^9\cdots\cdots](1-\mu^2)$$

$\beta=40$: 水深=7260 呎:

$$\zeta/H_2=[-0.048-2.23\mu^2+0.083\mu^4-4.45\mu^6-2.47\mu^8 -4.39\mu^{10}+\cdots\cdots+1.48\mu-6.91\mu^3+8.39\mu^5 -6.02\mu^7+1.82\mu^9\cdots\cdots](1-\mu^2)$$

以上の結果を少し検討してみよう. 今上記の諸式に数値を入れて帯状海の南北岸に於ける潮高を計算した結果は次表の様になる.

30° 及び 14° 30′ の緯度圏に囲まれた帯状海の南北岸に於ける潮高

	$\beta=5$		$\beta=10$		$\beta=20$		$\beta=40$	
	30°	14° 30′	30°	14° 30′	30°	14° 30′	30°	14° 30′
帯状海理論	0.103	0.084	0.103	−0.083	0.100	−0.083	0.092	−0.083
完全球海理論	—	—	−0.020	−0.176	—	—	0.021	−0.095
補正平衡理論	0.104	−0.083	0.104	−0.083	0.104	−0.083	0.104	−0.083

比較のため Darwin が提出した完全球海の動力学的潮汐論の結果 (§4 の式 (4.23) 及び (4.24)) から計算した北緯 30° 及び同 14°30′ に於ける潮高をその次に掲げる. 更に注目す可きは Goldsbrough の帯状海の動力学的潮汐論の与える長週期潮汐が次の如き補正平衡潮汐論の与える結果に極めて近似した値を有つ点である.

平衡潮高は長週期潮汐では C を t のみの函数とすれば

$$\bar{\zeta}=H_0\left(\mu^2-\frac{1}{3}\right)\cos(\sigma t+\varepsilon)+C$$

である. Darwin と Turner とは ds を海洋表面の面積素とするとき

$$\iint\bar{\zeta}ds=0$$

となる様に C を決定したものを補正平衡潮汐論と名命したことは既に述べた. 我々の論ずる帯状海でこの積分を遂行すると

$$C=-\frac{H_0}{3}(\mu_2^2+\mu_1\mu_2+\mu_1^2-1)\cos(\sigma t+\varepsilon)$$

となる. 但し μ_1, μ_2 は帯状海の南北岸の緯度で $\mu_1=14°\,30'\mathrm{N}$, $\mu_2=30°\mathrm{N}$ とすれば上表の最下段の結果が得られるが, これは $\mu=14°30'$ の岸では動力学的潮汐論が与える帯状海の潮高と事実上同一であり, 対岸 $\mu=30°$ でも $\beta=40$ を除けば大体同一である. Goldsbrough は解析的に $\frac{1}{\beta}\mu\sqrt{1-\mu^2}$ と同位の項を省略すれば運動の方程式から

$$\zeta=\bar{\zeta}-\frac{1}{\mu_2-\mu_1}\int_{\mu_2}^{\mu_1}\bar{\zeta}d\mu$$

即ち補正した平衡潮高に等しいことを証明した.[1)]

+30° と −14° 30′ との両緯度圏に囲まれた帯状海では同じく次表が得られた.

+30° 及び −14° 30′ の緯度圏に囲まれた帯状海の南北岸に於ける半日潮汐の潮高

	$\beta=5$		$\beta=15$		$\beta=20$		$\beta=40$	
	30°	−14° 30′	30°	−14° 30′	30°	−14° 40′	30°	−15° 30′
帯状海理論	0.184	0.0006	0.183	0.0012	0.178	0.0026	0.170	0.0048
完全球海理論	—	—	−0.020	−0.176	—	—	0.021	−0.095
補正平衡理論	0.1875	0.0000	0.1875	0.0000	0.1875	0.0000	0.1875	0.0000

傾向は前の場合と同一である.

次に一日潮汐について考えると一日潮汐 K_1 は完全球海理論では存在しないし，また平衡論では補正項が =0 となり，次の両表が得られた.

+30° 及び +14° 30′ の緯度圏に囲まれた帯状海に於ける一日潮汐の潮高 ζ/H_1

	$\beta=5$		$\beta=10$		$\beta=20$		$\beta=40$	
	30°	14° 30′	30°	14° 30′	30°	14° 30′	30°	14° 30′
帯状海理論	−9.23	−7.51	−0.364	−0.396	−0.168	−0.240	−0.045	−0.129
平衡理論	+0.433	+0.242	+0.433	+0.242	+0.433	+0.242	+0.433	+0.242

+30° 及び −14° 30′ の緯度圏に囲まれた帯状海に於ける一日潮の潮高 ζ/H_1

	$\beta=5$		$\beta=10$		$\beta=20$		$\beta=40$	
	30°	−14° 30′	30°	14° 30′	30°	−14° 30′	30°	−14° 30′
帯状海理論	−1.30	−1.67	+0.193	−0.532	+0.475	−0.524	+0.843	−0.843
平衡理論	+0.433	−0.242	+0.433	−0.242	+0.433	−0.242	+0.433	−0.242

小さい方の帯状海で $\beta=5$ のとき潮高が大きいのは潮汐の週期が或程度自由振動の週期に近いことを示すと考えられる. Goldsbrough は正式に週期方程式を解くことが出来なかつたことは前述の通りであるが，種々苦心して小さい方の帯状海 ($30°\mu\geqq\mu\geqq+14°\,30'$) でも，大きい方の帯状海 ($30°\geqq\mu\geqq-14°\,30'$) でも，自由振動の週期が一日潮汐の週期に等しくなるのは $\beta=4$ と $\beta=5$ との間であることを知つた. 但しこの値は小さい海の方が $\beta=5$ に近いようであることは表の示す通りである.

全体として見て帯状海の一日潮汐は完全球海理論でも平衡論でもその正しい潮高を完全に説明し得ないのである.

半日潮汐に対しては次の 2 表が得られるが完全球海理論も平衡理論 (補正項は =0 である) も充分に潮高を与えない. 自由振動の週期が半日週期と一致する水深は極めて大雑把ではあるが小さい帯状海では $\beta=2.2$ 及び 84，大きい帯状海では $\beta=2.8$ 及び 18 である. このことの効果は $\beta=5$ 及び $\beta=20$ に対する潮高の数字に幾分現れている.

(1) G.R. Goldsbrough, The Dynamical Theory of the Tides in a Zonal Ocean, Proc. London Math. Soc., 2nd Ser. Vol. **14** (1915) Pp. 224–225.

録　事

1. 日本海洋学会昭和34年度年会及び総会

昭和34年4月6日～8日，東海区水産研究所大講堂で年会及び総会が行われた．次第は次の通りである．

(1)研究発表その他

4月6日　(1～5　座長竹内能忠)

1．津軽暖流について．飯田隼人（函館海気）　2．1952－58年北洋の海況変動について．杉浦次郎（函館海気）　3．黒潮前線から分離北上する暖水塊の性状．木村喜之助（東北水研）　4．本州東方海区の黒潮の蛇行に関連する親潮流について．福岡二郎（気象研）　5．北太平洋極前線海域の海況．増沢譲太郎（気象研）

11時より．総会（議長，速水頌一郎）会長あいさつ．事業及び会計報告．予算案．その他の審議．自由討論．(別項記載)

午後．(6～13.　座長木村喜之助)

6．1958年夏における北氷洋の海況　奈須敬二（鯨類研）　7．西太平洋赤道海域の海況　土屋瑞樹(東大理)　8．北太平洋のビンナガマグロの体長と漁場の海水の滲透圧との関係．川合英夫（東北水研）　9．カツオ主漁場が主黒潮前線を乗越える現象について．川合英夫（東北水研）　10．明石海峡による播磨灘と大阪湾との海水交流について．依田大介（京大理）　11．田辺湾における質量欠損の分布について．福尾義昭（京大理）　12．川口附近の塩分変化について．平野敏行．杉浦健三．上原進（東海水研）　13．湖沼における水温の週年変化について．渡辺信雄（東海水研）

(14～19　座長速水頌一郎)

14．誘導電位差による海峡の海潮流観測について．(序報)二谷穎男．岩佐欽司．稲田亘（水路部）　15．潮汐定数の精度について．宮崎正衛（気象庁）　16．日本沿岸各地の日平均水温の変化について．庄司大太郎．渡辺隆三（水路部）　17．細島と油壺．高知と海南，および海南と油壺との間の平均潮位の差について．山口生知（山形大）　18．海の氷の弾性率の測定(スライド使用)．田畑忠司（北大低温研）　19．海の氷の破壊強度について．(スライド使用)　田畑忠司（北大低温研）

4月7日　午前　(20～25　座長田畑忠司)　20．海洋における Rossby wave について．大内正夫(京都学芸大)　21．西太平洋における海水の収斂．発散の分布について．須藤英雄（東大理）　22．うず度の時間変化について．南日俊夫（気象研）　23．遠州灘沖の冷水塊の生成機構の理論の補遺　南日俊夫（気象研）　24．赤道近傍と大陸沿岸帯との海洋諸現象の類似(I) 特に Cromwell Current 等．吉田耕造（東大理）　25．赤道近傍と大陸沿岸帯との海洋諸現象の類似　(II)　特に Internal Kelirn wave Equatorial wave 等．吉田耕造（東大理）

(26～28　座長太田正夫)

26．水平混合を考慮した海流理論の結果．日高孝次（東大理）　27．深さによる流れの分布が指数函数で表されるとき，流れに逆行する表面波の安定性について．富永政英（東京学芸大）　28．長周期波によつて生ずるエッヂ波およびその不規則海岸線による減衰について．小川喜平治（水路部）

午後　(29～35　座長松平康男)

29．風洞水槽による風波の研究(第3報)　国司秀明（京大理）　30．成層した2層の境界面における内部波と混合に関する実験．岡崎守良（京大理）　31．核実験による津浪．三好寿（東水大）　32．日本海のプランクトンと海況の関係について．小川大海（舞鶴海気）　33．北太平洋大圏航路のプランクトン分布について．上野福三（三重県大）　34．浦戸湾におけるプランクトンの季節変化と海況．竹田正彦（高知大）　35．親潮域内における珪藻プランクトンの季節変化(1953年～58年)．川原田裕（函館海気）

(36～42　座長坂本市太郎)

36．黒潮域内の浮遊性橈脚類について．古橋賢造（神戸海気）　37．1958年 IGY．(凌風丸)プランクトン調査報告(I)．丸茂隆三（気象庁）　38．1958年 IGY．(凌風丸)プランクトン調査報告(II)　朝岡治（気象庁）　39．1958年 IGY．(凌風丸)プランクトン調査報告(III)　鬼頭正隆（気象庁）　40．1957年夏期北太平洋のミクロプランクトンの分布　大和田守（気象庁）　41．モータ付水中ポンプによるプランクトンの定量採集　山路勇（京大理瀬戸臨実）　42．植物プランクトンの光合成クロルフィル含量の日周期性とその基礎生産における意義．西条八束東京都立大)，市村俊英（東京教育大）

4月8日　午前　(43～46　座長佐々木忠義)

43．鯨の胃内容よりみた北太平洋における沖アミ類の分布　根本敬久（鯨類研）　44．沿岸観測用波浪計 MR-Mark II について．降簱常雄（気象研）　45．自動スペクトラム計算機 MERIAC-IF と波浪データの2.3の分析結果について．降簱常雄（気象研）　46．沿岸用微速流速計の試作．速水頌一郎．国司秀明．中村重久（京大理）

(47～51　座長山路勇)

47．海水又は湖水中に水平に沈められた小板下面の照度について．向井正幸（信州大）　48．水中における昼光の角度分布測定装置（改良型）と測定結果について．佐々木忠義（東水大　理研）．渡辺精一（東水大）．大柴五八郎．岡見登（理研）　49．日本海溝深海水の懸濁粒子について．佐々木忠義(東水大理研)．渡辺精一．大柴五八郎．岡見登（理研）　50．外海性海湾（尾鷲近海）の濁度垂直構造並びに透明度（スライド使用）．坂本市太郎（三重県大）　51．尾鷲湾における底質の粒度分布型(スライド使用)．坂本市太郎．納見俊夫．西岡努（三重県大）

午後　(52～57　座長新野弘)

52．海岸砂の粒経分布について．柿沼忠男（京大理）　53．鹿島灘の陸棚について．茂木昭夫（水路部）　54．東支那海底土の炭酸塩及び可溶性硅酸について．細川厳．

岡部史郎（福岡学芸大）　55. 東支那海底土の有機炭酸及び窒素について．細川巌．岡部史郎(福岡学芸大)．浜田七郎（西海水研）　56. 本州南方海域の海底堆積物の化学組成について．星野通平（水路部）．市原優子(大阪市大)　57. 赤道海域の深海堆積物中のカルシウムの含有量について．日向野良治．星野通平（水路部）

(58～63　座長菅原健)

58. 西太平洋における北赤道海域表層水の放射化学分析について．日向野良治（水路部）　59. 1954～55年夏期津軽海峡表面の total-phosphorous について．大久保勲(函館海気)　60. 南極大陸及びその周辺の海洋化学的研究．鳥居哲也（千葉大）．猿橋勝子（気象研）．三宅泰雄(東京教育大)　61. 海水と空気との間の炭酸ガスの交換速度について．(予報)　半谷高久．伊藤雄次（東京都立大）　62. 塩素定量の補正項 k の考察．興水直文（舞鶴海気）　63. 魚体中の稀土類元素の放射化分析．(第2報)　亀田和久（原子力研）

尚その他シンポジュームは次の通りである．

水産生物環境シンポジュム

主題　密殖と環境　4月5日於東海区水産研究所大会議室．講演　1. 真珠養殖における適性密度の問題．木村三郎（三重水試）　2. カキの密殖の問題．今井丈夫（東北大）　3. 養殖における魚の生理．川本信之(三重県立大)　4. ノリの密殖と環境．倉掛武雄（愛知水試）　5. 海水の交流と生産力．速水頌一郎（京都大）

恒例の懇親会は4月7日午後6時より海員会館で盛大に行われた．集るもの45名．岩宮氏からのビールの寄贈もあり，歓を尽し名残を惜しみ8時30分に散会した．

(2)　予算，決算

4月6日の総会で下記の昭和33年度収支決算が承認され，昭和34年度予算及び新評議員が決定した．

(a)　日本海洋学会昭和33年度収支決算（単位：円）

収入		支出	
前年度繰越	89,763	会誌印刷費(14巻)	333,840
会費	318,510	指針増刷代残金	65,000
指針,常用表売上	119,391	大会費	20,685
会誌売上	61,120	人件費	68,000
広告代	48,800	送料及び通信費	52,729
刊行助成金	130,000	文具費	5,516
雑収入	21,984	交通費	1,790
		地物連合分担金	1,000
		編集費	5,679
		雑費	10,342
計	789,568	計	564,581
次年度繰越金	224,987		

(b)　日本海洋学会昭和34年度予算（単位：円）

収入		支出	
前年度繰越	224,987	会誌印刷費(15巻)	400,000
会費	275,000	大会費	25,000
指針売上	10,500	人件費	90,000
会誌売上	40,000	送料及び通信費	55,000
広告代	73,600	文具費	10,000
刊行助成金	130,000	交通費	3,000
雑収入	4,000	編集費	6,000
		地物連合分担金	1,000
		図書整理費	50,000
		雑費	15,000
		予備費	103,087
計	758,087	計	758,087

(3)　新評議員　会則改正後始めて選挙を行い次の諸氏に決定した．(アイウエオ順)

北海道地区　杉浦次郎，福富孝治，元田茂，安井善一，東北地区　木村喜之助，松平近義　関東地区　亀田和久，藤井義之，宮崎道夫　　東海道地区　菅原健，上野福三　東京地区　宇田道隆，宇野木早苗，須田皖次，佐々木忠義，竹内能忠，寺田一彦，中野猿人，南日俊夫，半沢正男，日高孝次，平野敏行，福岡二郎，増沢譲太郎，松江吉行，丸茂隆三，三宅泰雄，吉田耕造　関西地区　石橋雅義，斎藤行正，花岡資，速水頌一郎，菱田耕造，松平康男，森安茂雄　北陸山陰地区　下村敏正　九州地区　和川広秋，川上喜代志，小泉政美，辻田時美

(4)　総会次第　出席会員74名，委任状20名で総会は成立した．

会長挨拶，一般報告，会計報告，予算の承認が型通り行われ，特に須田皖次氏の水路部退官に際し会員諸氏に挨拶され14年間の在職中にうけた諸氏の御厚意に感謝するという趣旨であつた．次に自由討議に移り松平康男氏から地方大会え学会本部から人を派遣する場合旅費を一部負担するよう．学会員の増加をはかるよう努力する事の発言があつた．これに関連し竹内能忠氏から海洋の科学のようなものを復刊すべきという意見が出，議長はもつともであるとし新評議員会ではかつてもらうようにしたいと発言された．次に猿橋勝子氏から新評議員は物理が多いから専門別を考慮すべきであると発言あり，これに関連し佐々木忠義氏も専門別機関別に広く選出される事が望ましいと述べた．議長はこの総会において，各方面の分野から選出される事が望ましいとするかどうかを簡単に決をとりきめる事は難しい．しかし新会則のもとで選挙の結果がこうなつたので現状ではこれがよいというのが会員の多数の考え方といえる．そこで専門別その他の問題は新評議員会に一任する事にしたいと発言があり諒承された．

2. 幹事，監査及び委員

新会則により在京評議員中宇田道隆を除き，関東地区の宮崎道夫を加え17名を幹事と選出した．

会計監査　菅原健　速水頌一郎

委員は次の方に委嘱した．小牧勇蔵　新野弘　深井麟之助（以上編集）　星野通平（企画）

幹事及び委員の事務分権は次の通り

編集　松江吉行*，小牧勇蔵，中野猿人，南日俊夫，新野弘，深井麟之助，吉田耕造

会計　平野敏行*，宇野木早苗

庶務
- (文書連絡，事務局の監督)　吉田耕造
- (会合，議事)　福岡二郎*，平野敏行
- (企画)　竹内能忠*，須田皖次，深井麟之助，星野通平，丸茂隆三
- (渉外—国外との連絡)　日高孝次*，三宅泰雄
- (国内学会との連絡)　寺田一彦，半沢正男
- (選挙事務，学会名簿関係)　佐々木忠義*，宮崎道夫
- (学会図書)　増沢譲太郎*，半沢正男

3. 昭和34年度第1回評議員会　4月6日，水産研究所で行われた．出席者　宇野木早苗，木村喜之助，佐々木忠義，竹内能忠，中野猿人，南日俊夫，速水頌一郎，沢正男，日高孝次，平野敏行，福岡二郎，増沢譲太郎，松平康男，丸茂隆三，宮崎道夫，安井善一，吉田耕造．主なる決定事項，前述の幹事，監査及び委員を定め分担をきめた．本年秋の大会は候補地として新潟及び仙台をあげ速かに定めて会員に周知するよう決めた．（別項で新潟に決定しその計画の大要を書く．）

4. 会長，副会長の決定

会長，副会長の選挙開票は5月11日に行われ次の如く決定した．

会長　日高孝次　　副会長　速水頌一郎　三宅康雄

5. 会員消息

会員楠宏氏は3月26日　北極洋上の米国海軍浮標観測所 α で観測を行う為渡米された．

本会会員理学博士川本彊雄氏は，深海調査用測器テストのため凌風丸にて出張中，不幸病を得て昭和34年5月11日死去された．心から哀悼の意を表する次第である．

同氏は東北帝大化学科卒業後，神戸海洋気象台に入り，その専門の海洋化学の分野において，数多くの業績を残された．昭和31年気象庁海洋課に転ぜられてからは，調査官あるいは課長補佐として重責を果された．とくに凌風丸深海測器設備（ロックフェラー財団寄付）に際しては寝食を忘れてほん走され，また学術用語分科審議会海洋学専門部会委員として，化学関係をたん当され，海洋学の発展に大きい貢献をされた．

（丸茂記）

6. 月例会

(1) 2月例会（2月11日於東大）

大洋の東西傾斜について　日高孝次（東大）

(2) 3月例会（3月10日於東大）　1. 水平混合と風成海流　日高孝次(東大)　2. 東南アジア海域の協同研究計画　吉田耕造（東大）

(3) 5月例会（5月12日．於気象庁）　1. 簡単な自記流速計について　南日俊夫（気象研），岩宮政雄（鶴見精機），赤松英雄（気象庁）　2. ハンブルグより帰つて　岩田憲幸（水路部）

7. 日本地球物理学連合懇親会

5月13日　日高孝次氏宅で懇親会が行われた．会するもの27名．ハワイ火山のスライドを鑑賞し，9時頃散会した．

8. 秋季大会について

今年度の秋季大会は**新潟市**において**10月28日(水)—30日(金)**の間に行う事に決定した．詳しい事は後程連絡する．

9. 第3回粘土科学討論会開催について

本会は「粘土研究会」と共催にて，「第3回粘土科学討論会」を今秋11月20日(金)・21日(土)の両日東京で開催する．場所は追ってお知らせする．内容は下記の通り．

(a)　一般研究発表

(b)　シンポジウム

粘土鉱物の生成環境

（風化，堆積，熱水変質，人工合成などに示される問題．）

研究発表希望の方は表題，一般研究発表，シンポジウムの別（上記の記号で示すこと）．所要時間．400字以内の要旨，スライド使用の有無，講演者（連名の場合には○をつける）を明記の上，下記粘土研究会事務局宛送られたい．（申込み〆切9月20日）

東京都北区西ヶ原町2の1
農業技術研究所内
粘土研究会事務局宛

10. IGY 海洋観測資料の頒布について

標記の中現在までに完成したものは下記のとおりです．御入用の向は東京都千代田区大手町気象庁海洋課内IGY観測第X分科国内資料蒐集機関淵秀隆宛御申込み下さい．なおその他のものも近い中に完成の運びとよりますので，その都度本欄を通じて御知り致します．

［I］ 1957年6～7月極前線海域一斉海流測定
凌風丸・春風丸・夕汐丸・海洋
142枚　568円　（送料共）

［II］ 1957年8～11月極前線観測
おしよろ丸・凌風丸・拓洋・海鷹丸
345枚　1,380円　（〃）

［III］ 長波観測
宮城江ノ島・八丈島
43枚　172円　（〃）

11. 寄贈交換図書

〔国内の部〕

○運輸技術研究所報告 **8**, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, **9**, 1, 2, 3；　○気象集誌 **36**, 6, **37**, 1, 2；　○水道協会雑誌 293, 294, 295, 296；○雪氷 **20**, 5, **21**, 1, 2；○地質学雑誌 **64**, 756, **65**, 760, 761, 762, 763；　○地質調査所月報 **9**, 12, **10**, 1, 2, 3；　○地質調査所年報　昭和32年度；　○電波研究所季報 **5**, 18；　○天文月報 **52**, 2, 3, 4, 5；　○東京工業試験所報告 **53**, 11, 12, **54**, 1, 2；○日本化学総覧 **33**, 2, 3, 4, 5；　○日本航空学会誌 **7**, 60, 61, 62, 63；　○日本塩学会誌 **13**, 1；　○富士製鉄技報 **8**, 1；　○淡水区水産研究所研究報告 **8**, 2；　○東海区水産研究所研究報告 22, 23；　○西海区水産研究所報告 16, 17；　○各国原子力情報 41, 47 48, 49；　○浅虫臨海実験所報告 **9**, 2, 3；　○測地学会誌 **5**, 1；　○欧文報告 **13**, 1, 2；　○水産学部紀要 7；　○日本原子力研究所調査報告　資料 2, 5, 6；　○運輸技研資料 16, 17；○広島大学水畜産学部紀要 **2**, 1；　○綜合海洋科学　創刊号 1959年；　○法政大学文学部紀要地学 **4**, 1；　○用水と廃水 **1**, 1, 2；　○科学技術文献速報（内容見本）；○南極資料 6；　○わが国産業界の研究活動　○Iono-

spheric Data in Japan **10**, 11, 12, **11**, 1, 2; ○Papers Meteorology and Geophysis **9**, 2, 3～4; ○Publications of the Astronomical Society of Japan **10**, 4, index, **11**, 1; ○The Science Reports of the Tohoku University **10**, 2, 3

〔国外の部〕

○釜山水産大学研究報告 **2**, 1, 2; ○海洋与湖沼 **1**, 3, **2**, 1; ○World Fisheries Abstracts **9**, 6; ○Reprint 6部; Allan Hancock Pacific Expeditions **15**, 1, 2, 3 index; ○Kieler Meeresforschungen **13**, 1, 2; ○Pacific Science **13**, 1, 2; ○Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom **38**, 1; ○Deutschen Hydrographischen Zeitschrift **11**, 5, 6; ○Inhalts-Verzeichnis 1943年 ○Ozeanographie 1957年; ○Kurze Mitteilungen 8; ○Acta Adriatica **13**, 12, 12, 13, 13, 14, 14, 15, 15, 16, 16; ○Bulletin 16, 17, 18, 19; ○Novitates 1802, 1806, 1811, 1812, 1821, 1825, 1829, 1831, 1835, 1859, 1862, 1863, 1865; ○Magnetograms and Hourly Values 1953 (Cheltenham, Maryland), (College, Alaska) 1954 (Honolulu, T.H.), (Cheltenham, Maryland), (College, Alaska) (Jucson, Arizona), (San Juan, P.R.), 1955 (Honolulu, T.H.), (Sitka, Alaska; ○Revista de Biologia Marina **8**, 1, 2, 3; ○Technical Note No. 23; ○Anúario do Abservatório de S. Paulo 1959年; ○Bulletin of the American Museum of Natural History **111**, 3, **112**, 4, **113**, 2, 4; ○Woods Hole Oceanographic Institution Reference 57-54, 57-60; ○Fisheries Investigations **21**, 8, **22**, 5

12. 編集記事

手持原稿が僅かしかありませんからふるって原稿をお寄せ下さい.

日本海洋学会会則

(昭和 34 年 2 月 10 日改正)

第1章 総 則

第1条 本会は，日本海洋学会 (The Oceanographical Society of Japan) と称する．

第2条 本会は，海洋学の進歩普及を図るを目的とする．

第3条 本会は，その目的を達するために次の事業を行う．

1. 海洋に関する研究会，および講演会の開催
2. 定期刊行物，学術上の刊行物の発行
3. その他必要な事業

第4条 本会の事務所は東京に置く，

第5条 本会の事業年度は，毎年4月1日に始まり翌年3月末日に終る．

第2章 会 員

第6条 本会の会員は，海洋学に関心を持ち，本会の趣旨に賛成するものとする．会員を分けて次の4種とする．

1. 正 会 員　会費年額金 600 円を納める者．ただし外国居住者の会費は別に定める．
2. 団体会員　会費年額金 600 円を納める団体．
3. 賛助会員　個人又は団体で賛助会費(毎年金 5000 円以上)を納める者．
4. 名誉会員　本会に対しとくに功労のあつた者のうちから総会の決議を受けて推薦される者とする．会費は徴収しない．

第7条 入会希望者は会員（団体会員を除く）1名の紹介を得て，所定の入会申込書を会長宛に差出し，評議員会の承認を受けなければならない．

第8条 会員は次の特典を有する．

1. 定期刊行物（日本海洋学会誌）の無料配布を受け，かつ本会が刊行する出版物の購入について便宜を与えられること．
2. 本会の催す各種の学術的集会に参加すること．
3. 日本海洋学会誌に寄稿すること．

第9条 会員は，毎年会費を前納するものとし，既納の会費は返戻しない．

第10条 会員は，次の理由によつて資格を喪失する．

1. 退会
2. 死亡
3. 除名

第11条 会員で退会しようとする者は退会届を提出せねばならない．この場合未納の会費があるときはこれを全納しなければならない．

第12条 会員で本会の名誉を毀損又は2ヵ年以上会費を滞納したものは，第8条の特典の停止を受け，場合によつては評議員会の議決を経て除名される．

第3章 役員，委員，および職員

第13条 本会の役員として評議員40名を置く．そのうちに会長1名，副会長2名，監査2名，幹事17名を含む．

第14条 1. 評議員は選挙細則で定める地区毎の定数を，全国の会員（団体会員を除く）が無記名投票により選挙する．

2. 会長，副会長，監査および幹事は評議員の互選による．

第15条 評議員は評議員会を構成し，会則の定める会務を審議執行するほか総会で議決された事項を執行する．評議員は総会に対し連帯責任を負うものとする．

第16条 会長は本会を代表し会務を総理する．副会長は会長を補佐し会長事故あるときはその代行者となる．

第17条 幹事は，庶務，会計，編集その他の事務を分担，執行する．
その分担については評議員会で定める．

第18条 監査は，本会の資産並びに会務を監査する．監査の結果は，総会に報告しなければならない．

第19条 役員の任期は1年とする．ただし重任を妨げない．

第20条 役員は任期満了となつても後任者に事務引継を終了するまでその職務を行う．

第21条 役員はその任期中でも評議員会の承認を受ければ辞任できる．ただしその場合の役員の欠員補充は行わない．

第22条 会長は，評議員会の推薦により，会員のうちから若干名を委員に任命し，編集その他本会の運営に必要な事項の調査，審議，事務などを委嘱することができる．

第23条 本会の事務を処理するため，職員をおくことができる．職員は，評議員会の議決を経て，会長が任免する．職員は有給とする．

第4章 集 会

第24条 総会は通常総会および臨時総会に分ける．

第25条 通常総会は，毎年1回事業年度終了後原則として2ヵ月以内に会長が招集する．次の事項は通常総会に提出して，その承認を得なければならぬ．

1. 前年度の事業報告および収支決算
2. 当該年度の事業計画および収支予算
3. その他評議員会において必要と認めた事項

第26条 臨時総会は，次の事項が発生した場合には発生の日より30日以内に会長によつて招集されねば

ならぬ.

1, 評議員会が必要であると議決したとき.

2. 監査が必要であると認め会長に請求のあつたとき.

2. 会員（団体会員を除く）現在総数の $\frac{1}{15}$ 以上から会議に付議すべき事項を示して会長に請求のあつたとき.

第27条 総会の招集は，少くとも10日以前にその会議に付すべき事項，日時および場所を，適当な方法によつて会員に通知しなければならない.

第28条 総会は会員（団体会員を除く）現在総数の $\frac{1}{5}$ 以上の出席がなければ成立しない．ただし総会に出席できない会員（団体会員を除く）で第27条によつて通知された事項の議決を他の出席会員(団体会員を除く)に委任した者および書面によつて議決に参加した者は出席者とみなす.

第29条 会議の議事は（会則の変更は除く）前条に認めた出席会員の過半数の同意により採決し，可否同数のときは議長がこれを決定する．また第27条によつて会員に通知されなくて，しかも議決を要する緊急動議に対しては，委任状や書面によらない出席会員の $\frac{2}{3}$ 以上の同意を得なければならない.

第30条 評議員会の運営については細則で定める.

第31条 本会は次の学術的集会を開く.

1. 大会 毎年1回以上， 会員の研究発表，諸種の講演会を行う.

2. 例会 原則として毎月1回開く．ただし8月を除く.

3. その他評議員会で認められた集会.

第32条 大会は大会委員会がその準備と運営に当る.
大会委員長は，評議員会の推薦により，会長が委嘱する．大会委員は，大会委員長が委嘱する.

第5章 刊 行 物

第33条 本会は定期刊行物「日本海洋学会誌」を原則として年4回刊行する.

第34条 日本海洋学会誌の編集は編集委員会が行う．編集委員長は評議員の互選とする．編集委員は編集委員長の推薦と評議員会の同意を経て会長が若干名の会員に委嘱する.

第35条 投稿規定は編集委員会で作製し評議員会の承認を得る.

第36条 その他の出版物を刊行する場合は評議員会の承認を要する.

第6章 会 計

第37条 本会の資産は会費，寄附金及びその他の収入から成る．この資産は会長が管理し，会計担当の評議員が保管する．ただし資産の保管法は評議員会の議決を要する.

第38条 本会は評議員会で編入を決議した資産を以て基本金とする．本会の経費は基本金の利子，会費，その他の収入を以て支弁する.

第7章 支 部

第39条 本会は地方に支部を設けることが出来る．支部についての会則は支部毎に別に定める.
但し評議員会の承認を得なければならない.

第8章 会則の変更及び解散

第40条 この会則は総会の出席者（委任状及び書面による参加を含む）の $\frac{2}{3}$ 以上の議決を経なければ変更することが出来ない.

第41条 本会の解散は総会の出席者（前条と同じ）の $\frac{2}{3}$ 以上の議決を経なければならない.

第42条 本会の解散に伴う残余財産は総会の出席者（前条と同じ）の $\frac{2}{3}$ 以上の議決を経て，本会の目的に類似の目的を有する公益事業に寄附するものとする.

第43条 この会則は，昭和34年2月10日から実施する.

日 本 海 洋 学 会 細 則

1. 選 挙 細 則

第1条 この細則は，日本海洋学会会則によつて定める.

第2条 選挙管理委員会は，次の事業を行う.

1. 選挙の公示.
2. 立候補及び推薦候補の受付と発表.
3. 投票及び開票に関する事務.
4. 当選の確認と発表.
5. その他，選挙管理に必要な事項.

第3条 選挙管理委員長は，評議員の中から互選される．選挙管理委員は，会則第22条によつて若干名を会長が任命する.

第4条 団体会員を除く総ての会員は，評議員の選挙に際し，立候補または推薦候補となることができる.
この場合立候補者名および推薦候補者名を選挙管理委員会に届出なければならない．ただし推薦候補者名簿には，届出された推薦候補者以外に評議員会が適当な候補者を追加し，これらを一括して作成するものとする.

第5条　評議員は，立候補および推薦候補以外の会員(団体会員を除く)からも選挙される．

第6条　評議員の選出に関して会則第14条第1項に定めたる地区およびそれらの定数は，各地区の会員数を考慮して次の通りとする．

北海道地区	(北海道全域)	4名
東北地区	(青森県，岩手県，秋田県，宮城県，山形県，福島県)	2名
東京地区	(東京都)	17名
関東地区	(茨城県，栃木県，群馬県，埼玉県，千葉県，神奈川県)	3名
東海道地区	(山梨県，静岡県，愛知県，岐阜県，三重県)	2名
関西地区	(滋賀県，京都府，兵庫県，奈良県，大阪府，和歌山県，岡山県，広島県，山口県，香川県，徳島県，高知県，愛媛県)	7名
北陸，山陰地区	(新潟県，長野県，富山県，石川県，福井県，鳥取県，島根県)	1名
九州地区	(九州全域)	4名

第7条　選挙は総て，定数の連記とする．

第8条　当選者は得票数の多い順に選出され，得票同数の場合は抽籤による．

第9条　この細則は昭和34年2月10日から実施する．

2．評議員会細則

第1条　評議員会は会則第15条およびその他会則に定める会務を行う．

第2条　評議員会は必要に応じ会長が随時に招集することが出来る．ただし評議員総数の$\frac{1}{8}$以上から評議員会の招集を請求された場合には，会長はその請求のあつた日から10日以内にこれを招集しなければならない．評議員会の議長は会長とする．

第3条　評議員会は評議員総数の$\frac{1}{3}$以上の出席で成立し，決議はその過半数でなされる．

第4条　次の理由により出席し得ない評議員は代理人を以て議決権を行使すること，および書面により議決に参加することができる．ただし代理人は代理権を証する書面を評議員会に差し出すことを要す．上記の正式手続きをなした欠席評議員は出席員数に算入する．

1. 遠隔の地に居住するもの
2. 公務によるもの
3. 病気のもの

第5条　評議員会の中に幹事会を設ける．会長はこの幹事会をもつて緊急止むを得ない場合に限り，評議員会にかえることができる．ただしその結果を評議員に通知しなければならない．

幹事会は，会長，副会長，監査，幹事より構成され，その成立採決は第3,4条に準ずる．

第6条　評議員会は会員に公開し議事に関係ある発言を許可しなければならない．

第7条　評議員会の議事録は少数意見を附し，適当な方法で会員に知らせなければならない．

第8条　この細則の変更には評議員会の同意を要する．

第9条　この細則は昭和34年2月10日から実施する．

3．入会申込書様式

(イ)　正会員の申込書

ふりがな 氏名	(年　月　日生)
現住所	(電)
勤務先 (職業)	(電)
最終学歴	
紹介者氏名	紹介者㊞

日本海洋学会の趣旨に賛成して入会を申し込みます．
会員になつた上は，本会の会則に従います．

年　月　日

氏名　㊞

(ロ)　団体会員の申込書

ふりがな 団体名	
所在地	

日本海洋学会の趣旨に賛成して入会を申し込みます．
会員になつた上は，本会の会則に従います．

年　月　日

団体代表者氏名　㊞

(ハ)　賛助会員の申込書（団体の場合）
個人の場合は正会員に準ずる

ふりがな 団体名	
所在地	
賛助会費年額	

日本海洋学会の趣旨に賛成して入会を申し込みます．
会員になつた上は，本会の会則に従います．

年　月　日

団体代表者氏名　㊞

リゴー海洋観測器械

測深機　各　種
採泥器　各　種
採水器及び測温観測器械
海水比重測定用具
海流調査器械各種
波圧波浪測定器
潮汐観測器械
海洋化学観測諸器具
プランクトン採集網
及び処理器械
その他理化学器械

株式会社　離　合　社

本　社　東京都千代田区神田鍛冶町1の2　電話 神田(25)1513・773・458
大阪営業所　大阪市北区北同心町1の15　電話 堀川(35)　8019
工　場　東京・浦和

T.S.K 株式会社 **鶴 見**

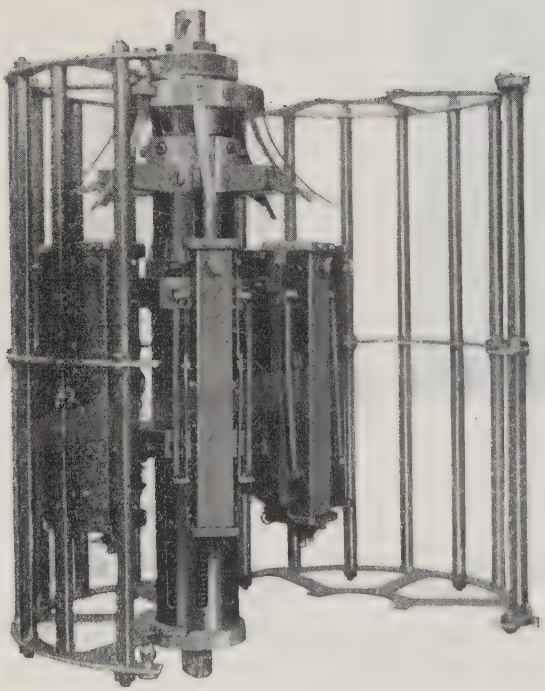
THE TSURUMI SEIKI

No. 1506 TSURUMI, TSURUMI-

The Synthetic Maker Instruments and the

T.S.—SEA SAMPLER

(T.S.—多層採水器)



（1） 一回の観測にて

（2） 下層 200m より順次 150—100—75—50—30—20—10 m の順に採水

（3） 各層に於ての深度誤差 3% 以内

（4） 一筒の採水量 200 cc

This instrument can obtain water samples,

（1） by only one operation.

（2） from 200 meter low layer to the surface in order of 200 M—150 M—100 M—75 M—50 M—30 M—20 M and 10 M.

（3） Depth error: less than ±3%.

（4） Volume of water canisters: 200 cc. each.

株式会社 **鶴 見 精 機 工 作 所**

精　機　工　作　所

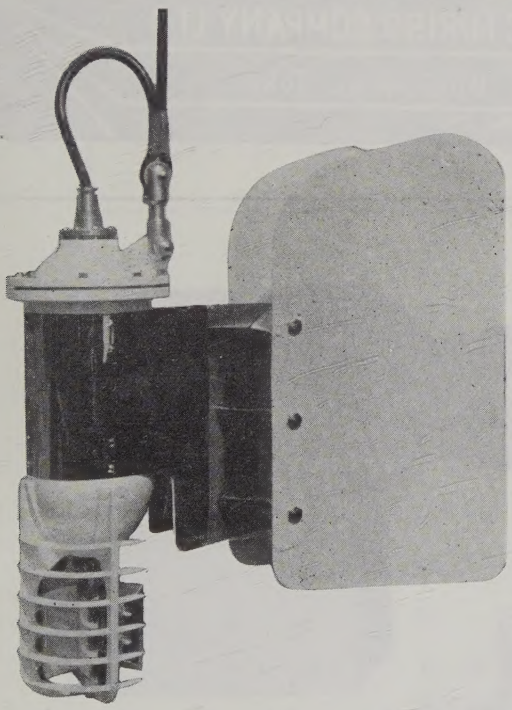
KOSAKUSHO CO., LTD.

KU, YOKOHAMA, JAPAN

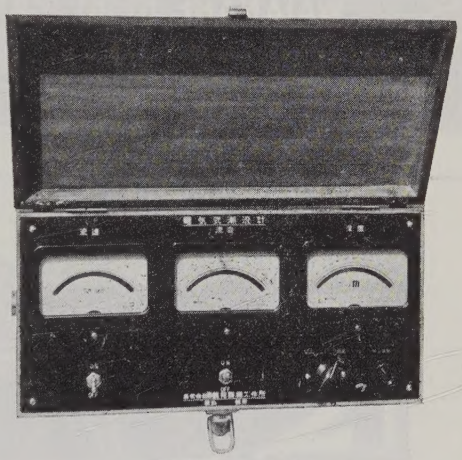
of the Oceanographic Marine Instruments

T.S.—ELECTRIC CURRENTMETER

(T.S.—電気式流速計)　(米国海軍水路部納入 1959)



発信器



直読指示器

(1) 流向 0—360 度最小目盛 5 度
(2) 流速 15. cm/sec～150 cm/sec, 最小目 2 cm.
(3) 深度 0～200 m, 0～300 m, 最小目 2.5 m.
(4) 水温付のものは御要求により製作

Supplied to U.S. Navy Hydrographic Office in 1959.

(1) Direction—0～360° : 5° graduation.
(2) Velocity—15. cm/sec.～150 cm/sec. : 2 cm. graduation.
(3) Depth—two kinds : 0～200 M type & 0～300 M type, graduation 2.5 m.
(4) We are able to furnish the instrument with thermometer if desired.

岩　宮　測　器　研　究　所

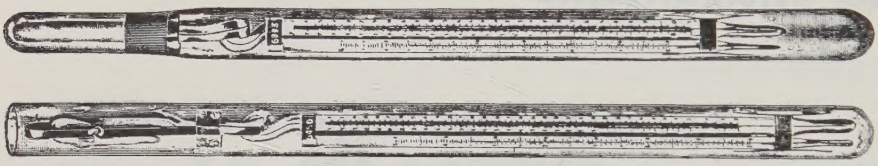
所長　岩　宮　政　雄

REVERSING THERMOMETER

渡部式転倒温度計　　赤沼式海水用比重計
木枠式転倒温度計　　温度基準器各種
水温計各種　　湿度計・水銀リレー

株式会社 渡部計器製作所

東京都文京区東片町114　　電話 小石川 (92) 5954番 0044番

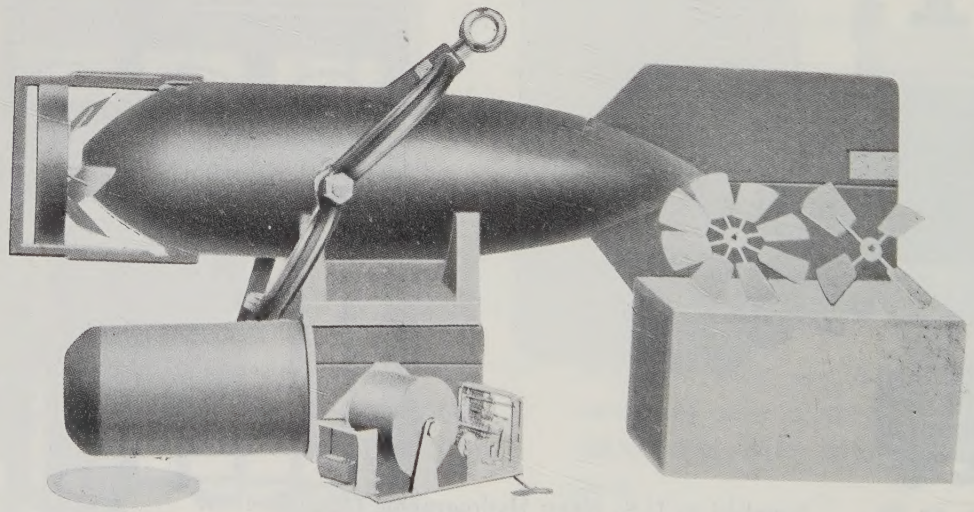


TELEGRAPHIC CODE: STWKEIKI

WATANABE KEIKI MANUFACTURING COMPANY LTD.

114 Higashikata-machi. Bunkyo-ku Tokyo.

JAPAN



(小野式自記流速計)

営業品目

小野式自記流速計・発電型流速計
土圧計・自記水位計
遠隔指示水位計・フース型検潮器
自記波高計・自記波圧計
階段抵抗式波高計・その他海洋観測諸計器

協和商工株式会社

東京都豊島区椎名町1丁目1804番地

電話 (95) 1858・8147番

Announcement for foreign members

Beginning from the 1959 fiscal year, namely from April 1, 1959 (Volume 15, No. 1), the annual foreign membership dues of the Oceanographical Society of Japan will be U.S. $2.50 (¥900).

Please make remittances payable to and send direct to :—

The Oceanographical Society of Japan
c/o Geophysical Institute,
University of Tokyo
Yayoi-cho, Bunkyo-ku
Tokyo, Japan.

Annual dues for foreign members who are now in Japan and wish to receive the Journal at their present addresses in Japan will be ¥600.

昭和33年12月の役員会において，昭和34年度より日本人会員で目下，外国にあり雑誌を自分が現在いるところに送つてもらいたいものの会費を米貨 2 ドル50セント（邦貨900円）に改訂することが決められましたので御承知下さい。なお在外日本人で雑誌の留守宅送付を希望する向の会費は在来通り 600 円です。

昭和 34 年 6 月 20 日印刷
昭和 34 年 6 月 25 日発行　日本海洋学会誌 第15巻 第2号

定価 ¥200　送料 ¥20

編集者　松江吉行

発行者　日本海洋学会
東京大学理学部地球物理学教室内
東京都文京区弥生町
振替番号：東京 173123

印刷所　大東印刷工芸株式会社
東京都中央区新富町2ノ19

JOURNAL OF THE OCEANOGRAPHICAL SOCIETY OF JAPAN

BOARD OF EDITORS

Editor-in-Chief	Yoshiyuki MATSUE	University of Tokyo
Assistant Editors	Mashito NAKANO	Japan Meteorological Agency
	Toshio NANNICHI	Meteorological Research Institute
	Hiroshi NIINO	Tokyo University of Fisheries
	Rinnosuke FUKAI	Tokai Regional Fisheries Reserch Laboratory
	Kozo YOSHIDA	University of Tokyo
	Yuzo KOMAKI	University of Tokyo

* * *

The JOURNAL OF THE OCEANOGRAPHICAL SOCIETY OF JAPAN is a medium for the publication of original paper in oceanography and closely allied fields. It is published quarterly by the Oceanographical Society of Japan. The annual dues for the types of membership available in tne Society are: Domestic Member ¥600, Oversea Member $2.50 (¥900), and Sustaining member ¥5000. The subscription price of the Journal is ¥800 per year to nonmembers. Foreign subscription carry an additional charge for postage $1.00 (or equivalent amount in Japanese currency according to the prevailing official rate of exchange).

Subscribers are requested to make remittance payable to the Oceanographical Society of Japan. Subscription orders, claims for missing numbers, change of address, and other business correspondence should be addressed to the Oceanographical Society of Japan, c/o Geophysical Institute, University of Tokyo, Yayoi-cho, Bunkyo-ku, Tokyo, Japan.

* * *

Information for contributors

1. Authors must be, in principle, members of the Oceanographical Society of Japan, but there is no objection if co-authors are non-members.
2. The date of receipt of a manuscript is when the editorial board receives it. The manuscript should be one which has been read at an open meeting and has not been printed elesewhere. The reading of the manuscript at an annual or a monthly meeting of the Oceanographical Society of Japan is desirable. The manuscript should be provided with the date, the name and the place of the meeting at which it was read. Every manuscript should be sent *directly* to **the Oceanographical Society of Japan, c/o Geophygical Institute, the University of Tokyo; Yayoi-cho, Bunkyc-ku, Tokyo Japan.**
3. All contributions to the Journal should be written in Japanese or in occidental languages. In the latter case, English language is desirable.
4. The manuscript must be clear and brief, and its length should not exceed **10** pages when printed in the Journal. This nearly corresponds to 25 double-spaced typewritten pages including figures. and tables. The author is requested to pay page charges ($5.00 per page) necessary for printing the **exceeded** Pages. All manuscripts should be prepared with special attention to following articles.
   (a) All manuscripts should be typewritten with double-space.
   (b) Title, author's name and affiliation are required at the beginning of each manuscript.
   (c) Each figure must be drawn in black ink or Indian ink for direct photographic reproduction. Tne original drawing, particularly characters and symbols for the lettering of illustrations, should be large enough to remain clearly legible when reduced.
   (d) Figures and tables should be confined to necessary ones. The author might be requested to pay charges necessary for printing them when they are particular or exceed 8 sheets.
   (e) Each figrue and table must be provided with an adequate legend.
   (f) Mathematical formulae in the manuscript should be written clearly with a wide space above and below each character.
   (g) References should be grouped at the end of the paper and arranged alphabetically by authors' name.
   (h) The form and style of each article should be referred to the Journal subsequent to volume 12.
5. The editoral board of the Journal might revise or request the author to revise the submitted manuscript. A manuscript which is against the above mentioned articles will not be accepted. The author must read, in principle, the galley proof.
6. The author (or authors) of each article will receive a total of 50 *free* reprints (with covers). Additional reprints with or without covers may be ordered by authors at the cost of printing (including postage).
7. The closing days of manuscrips and the days of publication of each number of the Journal are as follows;

No. 1	Jan. 31	Mar. 31
No. 2	Apr. 30	Jun. 30
No. 3	Jul. 31	Sep. 30
No. 4	Oct. 31	Dec. 31